

# Höyry-, lauhde- ja kuumavesiputkistojen kunnonvalvonta

Maria Rentola

Opinnäytetyö

Toukokuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Kunnossapito

Tekijä(t) Rentola, Maria	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2016
	Sivumäärä 55	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Höyry-, lauhde- ja kuumavesiputkistojen kunnonvalvonta</b>		
Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Harri Tuukkanen, Kari Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Metsä Wood Suolahti		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aihe saatiin metsäteollisuuden alalla toimivalta Metsä Wood Suolahdelta, joka on osa Metsä Groupia. Suolahden vaneritehtailla valmistetaan koivu- ja havuvaneria. Vaneritehtaiden höyry-, lauhde- ja kuumavesiputkistojen kuntoa ei ole aiemmin seurattu eikä kuntokartoitusta oltu tehty. Korjausten tekeminen aiheuttaa lähes aina konelinjojen pysäyttämisen ja pahimmillaan koko tehtaan alasajon. Putkistot liittyvät kiinteästi rekisteröityihin painelaitteisiin, joilla on myös lakisääteisiä velvoitteita. Työn tavoitteena oli kartoittaa putkistojen nykytilaa ja selvittää millaisia nykyaikaisia menetelmiä on olemassa putkistojen kunnonvalvontaan. Lisäksi haluttiin selvittää putkistoja koskevat lakisääteiset velvoitteet.</p> <p>Työ toteutettiin hankkimalla aineistoa selvitystyötä varten, jonka jälkeen valittiin tarkoitukseen soveltuva kunnonvalvontamenetelmä. Työssä päädyttiin pyytämään tarjous putkistojen NDT –tarkastuksesta Dekra Oy:ltä, joka kuvasi putkistot digiröntgen –menetelmällä. Lisäksi painelaitteisiin kohdistuvat lakisääteiset velvoitteet esiteltiin ottaen huomioon erityisesti kohdeyrityksen putkistoa koskevat määräykset.</p> <p>Tuloksena saatiin aloitettua putkistojen kuntokartoitus ja luotua ohjeet suositeltavien jatkotoimenpiteiden suorittamiseen.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> )		
Kunnossapito, putkistot, korroosio, höyry, NDT-tarkastus		
Muut tiedot		

Author(s) Rentola, Maria	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 55	Permission for web publication: x
Title of publication <b>The condition monitoring of steam, condensate and hot water pipelines</b>		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Tuukkanen, Harri, Hytönen, Kari		
Assigned by Metsä Wood Suolahti		
<p>Abstract</p> <p>The subject of thesis was assigned by Metsä Wood Suolahti, which operates in the field of forest industry. Metsä Wood is part of Metsä Group. Suolahti plywood mills manufacture birch and spruce plywood. The condition of plywood mills steam, condensate and hot water pipelines has not been monitored earlier and no condition survey has been made. Making repairs cause a shutdown of the production lines almost every time and shutting down the entire factory at the worst. The piping is connected to the registered pressure equipment, which also have statutory obligations. The aim was to start surveying the pipelines and research modern methods of monitoring the condition of piping. In addition, the statutory obligations were to be researched.</p> <p>A suitable method for condition monitoring was chosen by first acquiring material for the survey. Dekra Industrial Oy was asked for an offer on inspecting the pipelines by using NDT method. Dekra Industrial Oy inspected the pipelines with a digital x-ray. In addition, the statutory obligations of the pressure equipment were presented taking the specific ordinance that affects the pipelines of the target company into account.</p> <p>As a result, surveying the pipelines was started and instructions for recommended further actions was made.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Maintenance, piping, corrosion, steam, nondestructive testing		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Opinnäytetyön lähtökohdat</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Yritysesittely</b>	<b>4</b>
2.1	Metsä Group	4
2.2	Metsä Wood	4
2.2.1	Vanerin valmistusprosessi	6
2.3	Kumpuniemen Voima Oy	8
<b>3</b>	<b>Höyryjärjestelmät</b>	<b>9</b>
3.1	Höyryn ominaisuudet	9
3.2	Höyrykattilat	10
3.3	Höyryn siirtojärjestelmä	13
3.4	Havuvaneritehtaan höyryjärjestelmä	16
<b>4</b>	<b>Painelaitedirektiivi</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Kunnossapito</b>	<b>22</b>
5.1	Vikojen kehittyminen	22
5.2	Kunnonvalvonta	23
5.3	NDT-menetelmät	26
5.4	Putkiston kuluminen ja korroosio	31
<b>6</b>	<b>Toteutus ja tutkimusmenetelmät</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Tulokset ja tulosten luotettavuuden arviointi</b>	<b>38</b>
7.1	Tulokset	38
7.2	Tulosten luotettavuuden arviointi	43
7.3	Suosittelavat jatkotoimenpiteet	44
<b>8</b>	<b>Pohdinta</b>	<b>45</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>47</b>
	<b>Liitteet</b>	<b>49</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Suolahden vaneritehtaat .....	5
Kuvio 2. Vanerin rakenne (Vanerit 2012.) .....	7
Kuvio 3. Kumpuniemen voimalaitoksen yksinkertaistettu prosessikaavio .....	9
Kuvio 4. Höyrykattilan toimintaperiaate (Höyrykattilan toimintaperiaate) .....	10
Kuvio 5. Luonnonkiertokattilan toimintaperiaate .....	12
Kuvio 6. Höyryputken vesitys .....	14
Kuvio 7. Havutehtaan yksinkertaistettu prosessikaavio .....	18
Kuvio 8. Putkistossa olevan vaarattoman kaasun luokittelu .....	20
Kuvio 9. Tietojen yhdistäminen vikadiagnosiin (Mikkonen 2009, 170.) .....	24
Kuvio 10. Ruosteen esiintyminen röntgenkuvatussa putkessa. Vasemmalla kuvassa ruostunut putki ja oikealla puhdas, ruosteeton putki. (Corrosion N.d.) .....	29
Kuvio 11. Röntgenkuvausputki .....	38
Kuvio 12. Seinämävahvuuden määrittely standardin SFS-EN 13480-3 mukaan .....	40

## Taulukot

Taulukko 1. Painelaitteiden määräaikaistarkastukset (Painelaitteiden tarkastukset N.d.) .....	19
Taulukko 2. Toleranssin määrittely ulkohalkaisijan ja seinämäpaksuuden mukaan (SFS-EN 10216-2) .....	43
Taulukko 3. Toleranssin määrittely sisähalkaisijan ja seinämäpaksuuden mukaan (SFS-EN 10216-2) .....	43

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Opinnäytetyön aihe-ehdotus saatiin Metsä Wood Suolahden vaneritehtailta, joka on osa Metsä Groupia. Suolahden tehtailla valmistetaan havu- ja koivuvaneria. Koivu- ja havuvaneritehtaiden lisäksi tehdasalueella on jalostetehtas, jossa vaneriin tehdään erilaisia pinnoitteita. Vaneritehtaiden höyry-, lauhde- ja kuumavesiputkistojen kuntoa ei ole aiemmin seurattu eikä kuntokartoitusta ole tehty. Putkistojen korjauksia ei ole suunniteltu ennalta, vaan korjauksia on tehty, kun on havaittu vuotoja. Vuotojen korjaukset ovat vaatineet lähes aina vähintään konelinjojen pysäyttämisen ja pahimmillaan koko tehtaan alasajon. Tästä on aiheutunut ylimääräisiä kustannuksia, joita on mahdollista saada laskemaan, kun osataan varautua putkistojen ja laitteiden tuleviin korjauksiin ja kunnostuksiin. Lisäksi putkistot liittyvät kiinteästi rekisteröityihin painelaitteisiin, joille tulee jo lakisääteisiäkin velvoitteita.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Suolahden vaneritehtaiden höyry-, lauhde- ja kuumavesiputkistojen nykytilaa ja selvittää, millaisia mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja nykypäivän kunnonvalvonnalla olisi putkistojen suhteen. Taloudellinen näkökulma otettiin selvitystyössä huomioon. Opinnäytetyö rajattiin koskemaan tiettyä osaa höyryn, lauhteen ja kuuman veden kierrosta, jotta työ saatiin toteutettua aikataulun puitteissa.

Valitsin kyseisen aiheen, koska olen työskennellyt Suolahden vaneritehtailla ja kunnonvalvontaan liittyvä aihe kiinnosti. Aihe oli tutkimisen arvoinen, koska kuntokartoituksen tekemisellä voidaan saavuttaa merkittäviä taloudellisia säästöjä, joka motivoi myös työn tekemiseen. Taloudellisen näkökulman lisäksi kunnonvalvonnalla voidaan saavuttaa turvallisuusparannuksia.

## 2 Yritysesittely

### 2.1 Metsä Group

Metsä Group on kansainvälisesti toimiva suomalainen metsäteollisuuskonserni, joka kattaa puun koko arvoketjun taimesta tuotteeksi. Metsä Groupin emoyhtiö Metsäliitto Osuuskunta syntyi 1900-luvun alussa metsänomistajien päättäessä yhdistää voimansa, jotta saavutettaisiin paremmat neuvotteluasemat puukaupassa. Vuonna 1934 perustettu Metsäliitto Oy aloitti puunviennin ja myöhemmin siitä tuli Osuuskunta, jonka nykyään omistaa noin 123 000 suomalaista metsänomistajaa. Nykyään Metsä Groupin liiketoiminta koostuu pehmo- ja ruoanlaittopapereista, kartongista, sellusta, puutuotteista sekä puunhankinnasta ja metsäpalveluista. Toimintaa konsernilla on lähes 30 maassa ja tuotantoa sillä on yhdeksässä maassa. (Metsä Groupin historia 2015.)

### 2.2 Metsä Wood

Metsä Group konsernin alaisuuteen kuuluva Metsä Wood valmistaa teollisuus-, rakennus- ja jakeluasiakkaiden tarpeisiin erilaisia puutuotteita, joista tärkeimpiä ovat sahatavara, vaneri, kerto ja liimapuu. Yrityksen liikevaihto vuonna 2015 oli 852 miljoonaa euroa ja yrityksessä työskenteli noin 2100 henkilöä. (Metsä Wood lyhyesti 2015.) Metsä Woodilla on vaneritehtaita kahdella paikkakunnalla, Suolahdessa ja Punkaharjulla.

Suolahdessa sijaitsevilla Metsä Woodin vaneritehtailla valmistetaan koivu- ja havuvaneria. Suolahdessa on myös jalostetehdas, jossa vaneria jatkojalostetaan erilaisilla pinnoitteilla. Alunperin Suolahdessa toimi vuonna 1920 perustettu saha, joka myöhemmin siirtyi Metsäliitto Osuuskunnan omistukseen. Kuvio 1. on ilmakehän kuva Suolahden vaneritehtaista.



**Kuvio 1. Suolahden vaneritehtaat**

Suolahden vaneritehtaiden liikevaihto vuonna 2012 oli 105 miljoonaa euroa ja se työllisti noin 500 henkilöä. Koivuvanerin tuotantomäärä vuonna 2012 oli 49 000 m<sup>3</sup> ja vastaavasti havutehtaan 149 000 m<sup>3</sup>. Koivuvanerista 9 % ja havuvanerista 17 % myydään Suomeen. Vienti kohdistuu pääosin Euroopan alueelle. Metsä Woodin käyttämästä raaka-aine puusta suurin osa tulee Suomesta. (Metsä Wood Info 2012.)

Vanerin käyttömahdollisuudet ovat laajat. Pienrakentamisessa sitä käytetään esimerkiksi seiniin, kattoihin, verhoiluihin sekä betonimuotteihin. Kuljetusvälineiteollisuudessa vaneria käytetään mm. ajoneuvojen ja rautatievaunujen lattioihin, perävaunuihin, kuorma-autoihin, alusten kansiin ja kuljetuslavoihin. Varastojen ja tehdashallien lattiat, lastauslaiturit, varastohyllyt ym. ovat myös usein vanerista valmistettuja. Koivuvaneri on kestävyysluokitukseltaan havuvaneria lujempaa. (Vanerituotteet rakentamiseen, teollisuuteen ja kotiin 2015.)

Vanerinvalmistuksessa syntyvien sivutuotteiden tuotantomäärä on noin 1,7 miljoonaa m<sup>3</sup>. Sivutuotteet hyödynnetään joko raaka-aineena tai bioenergiana Metsä Groupin tuotannossa. (Metsä Wood Info 2012.)



### 2.2.1 Vanerin valmistusprosessi

Vanerin valmistusprosessi alkaa raaka-aineen, eli tukkien kuljetuksella tehtaalle. Metsä Woodin käyttämistä tukeista suurin osa tulee suomalaisilta maanomistajilta. Ensimmäisenä tukit nostetaan haudonta-altaille, jossa niitä haudutetaan vähintään vuorokausi noin 50 asteisessa vedessä. Näin puuaines pehmenee ja sen sorvattavuusominaisuudet paranevat. Haudonta-altailta tukit siirretään linjalle, josta ne menevät kuorintaan ja sieltä katkaisuun, jossa ne katkotaan määrämittaan sorvausta varten. Seuraavaksi tukit siirretään kuljetuslinjaa pitkin viilusorville. Sorvauksessa pölli siirretään sorvin karoihin, jotka pyörittävät ja painavat sitä samanaikaisesti pölliä vasten olevaan terään, joka leikkaa siitä viilumattoa. Jäljelle jäävää keskiosaa kutsutaan purilaaksi. Suolahden vaneritehtaalla koivupurilaat menevät hakkuriin, jossa niistä tehdään haketta. Hakkurilta hake menee seulalle, jonka kautta suurin osa hakeesta menee Metsä Fibren Joutsenon tehtaalle sellukäyttöön. Osa koivupurilaiden hakeesta poltetaan voimalaitoksella. Havupurilaita voidaan hyödyntää myös myymällä niitä jatkojalosettavaksi. Mitä paksummaksi viilu sorvataan, sitä enemmän siihen tulee halkeamia kun se pakotetaan oikeenomaan levyksi. Hihnakuljettimet kuljettavat viilumaton leikkurin läpi pinkkaajille, josta viilupinkat siirretään viilunkuivaajille.

Viilunkuivaajilla viiluja kuivataan neljässä kerroksessa. Viilut syötetään teloille, jotka kuljettavat ne kuivaajan sisälle. Kuivaajassa viilut liikkuvat telaparin välissä eteenpäin ja suutinlaatikko puhalttaa niiden pintaan paineistettua höyryä, joka kuivattaa viilua. Kuivaajassa on puhaltimet, joiden avulla viiluista haihtuva vesi ohjataan höyrynpölytoventtiileistä katon kautta ulkoilmaan.

Kuivaajan loppupäässä on jäähdytysosa, jossa kuivattuja viiluja jäähdytetään jatkokäsittelyä varten. Kuivauksessa pyritään saamaan viilut tiettyyn kosteusprosenttiin, jonka haastavuutta lisää puun kosteuden vaihtelut. Kosteusvaihteluiden takia pinta- viiluja ja sydänpuusta sorvattuja viiluja ei yleensä kuivata samanaikaisesti.

Kun viilut on kuivattu, ne lajitellaan niiden laadun mukaan. Hyvä ja ehjä viilu menee kuivaajilta suoraan ladontaan, mutta laadultaan huonommat viilut menevät ensin saumaukseen, jossa niistä saumataan määrämittäisiä arkkeja. Suurin osa saumaajista saumaa sulattamalla viilun ylä- ja alapuolelle liimalankaa sekä lisäämällä liitoskohtiin liimapisteitä. Saumauksen jälkeen viilut ovat valmiita ladottavaksi. Ladonnassa viilut kulkevat liimavalssin läpi, jossa niiden pintaan levitetään liimakerros. Pällekkäin ladottavien viiluarkkien määrä riippuu vanerin halutusta paksuudesta. Viilut ladotaan siten, että joka toisen viiluarkin syysuunta on eripäin. Kuviossa 2. on havainnollistettu vanerin rakenne.



**Kuvio 2. Vanerin rakenne (Vanerit 2012.)**

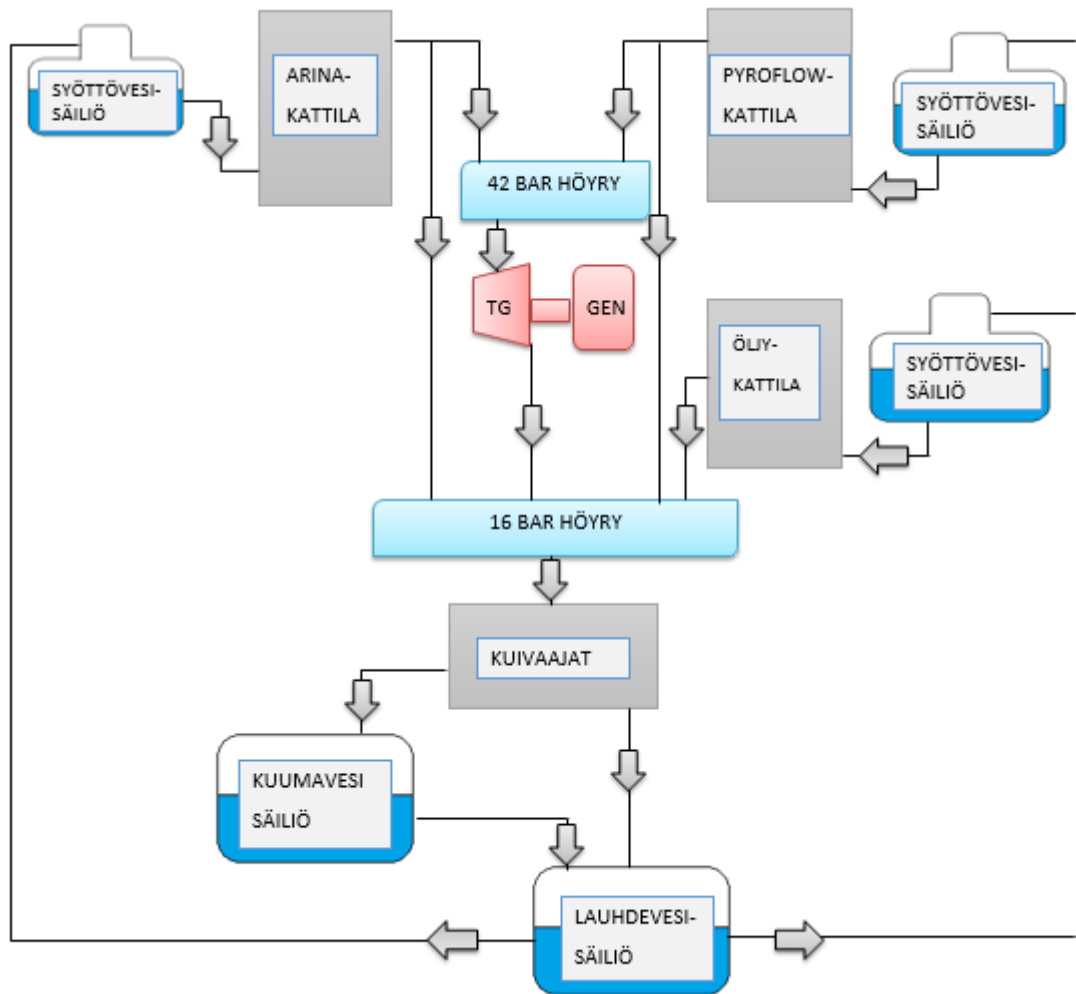
Ladonnan jälkeen ladotut viilut eli vanerilevyt siirretään puristimelle, jossa niitä puristetaan kuumien lämpölevyjen välissä, jotta liima kuivuu ja tarttuu tasaisesti viilukerrokseen. Lämpölevyt kuumennetaan niissä kiertävällä noin 140 °C asteisella vedellä. Puristusaika riippuu puristettavan vanerin paksuudesta, mutta tyypillisesti se on 5-20 minuuttia. Puristuksen jälkeen vanerilevyjen reunat sahataan tasaiseksi ja haluttuun

mittaan. Sahauksen jälkeen vanerin pinnat hiotaan, jotta siitä saadaan halutun paksuinen. Hionnan jälkeen pinnoittamattomat vanerit ovat valmiita. (Viilun valmistus 2015.)

## 2.3 Kumpuniemen Voima Oy

Suolahden vaneritehtaat tarvitsevat prosessihöyryä 150 000 MWh/vuosi. Tarvitsemansa höyryn vaneritehtaat saavat tehdasalueella sijaitsevalta energiantuottajayhtiö Kumpuniemen Voima Oy:ltä, joka tuottaa, hankkii ja myy osakkailleen lämpö- ja sähköenergiaa. Kumpuniemen Voima Oy on Metsä Groupin tytäryhtiö ja sen lähtökohdana on omakustannushinta. Yhtiö on perustettu vuonna 1991, jolloin osakkaina olivat Suolahden kaupunki, Keski-Suomen Valo ja Finnforest. Nykyisin Metsäliitto omistaa yhtiöstä 54 % ja Äänekosken Energia 46 %. Lähes kaikki yhtiön tuottama energia tuotetaan puupolttoainekattiloilla.

Höyryä alettiin myydä Suolahden Vaneritehtaille vuonna 1992, jolloin otettiin käyttöön Pyroflow kiertopetikattila, jonka polttoaineena käytetään vaneritehtaan koivun kuorta ja puhdasta koivun viiluhaketta. Samalla alkoi kaukolämmön myynti Suolahden kaupungille, jota nykyään toimitetaan kaukolämpöverkostoon 45 000 MWh/vuosi. Vuonna 1994 toteutui turbiinin käyttöönotto ja sähköntuotanto. Sähköä Kumpuniemen Voima Oy kehittää 12 000 MWh/ vuosi. Vuonna 1996 hankittiin öljykattila varakattilaksi ja 1999 otettiin käyttöön puupolttoaineella toimiva arinakattila. Havun kuorta, vanerin reunamursketta, purua ja haketettua puujätettä käytetään arinakattilan polttoaineena. Arinakattilassa poltetaan myös havu- ja koivuvaneritehtaiden hiomapöly puhalluspolttona suoraan tulipesään. Kuviosta 3. käy ilmi Kumpuniemen Voima Oy:n yksinkertaistettu prosessikaavio.



Kuvio 3. Kumpuniemen voimalaitoksen yksinkertaistettu prosessikaavio

### 3 Höyryjärjestelmät

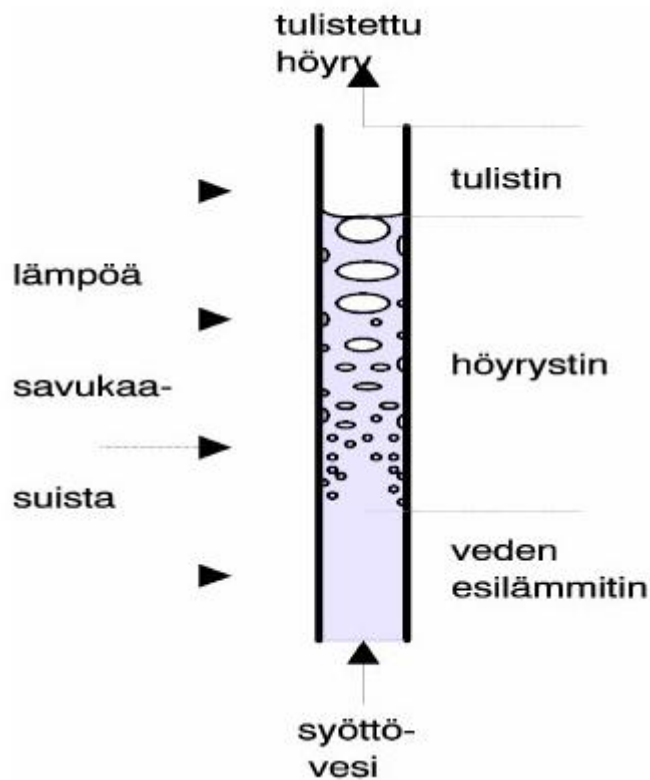
#### 3.1 Höyryn ominaisuudet

Höyryllä on useita ominaisuuksia, joiden vuoksi sitä käytetään paljon teollisuudessa tuotannon tarpeisiin sekä erilaisten prosessien lämmittämiseen. Höyryn lämpökapasiteetti ja kyky varastoida lämpöä on suuri. Höyryn etuna on myös sen myrkyttömyys ja siirtämisen sekä kuljettamisen helppous. Höyry soveltuu useisiin prosesseihin, koska sen lämpötilaa on helppo kontrolloida paineen avulla. (Höyry- ja lauhdejärjestelmä 2009, 2.)

### 3.2 Hörykattilat

Höyryä tuottavilla voimalaitoksilla välttämättömiä komponentteja ovat syöttövesisäiliö, syöttövesipumppu, kattila, höyryturbiini ja generaattori sekä lauhdutin. Tyypillään höyryvoimalaitokset ovat vastapaine- tai lauhdevoimalaitoksia. Vastapainevoimalaitokset mitoitetaan lämmöntarpeen mukaan, sillä lämpö on sen ensisijainen tuote ja sähkö toissijainen. Lauhdevoimalaitoksessa pyritään höyryyn sitoutunut energia muuttamaan mahdollisimman täydellisesti sähköksi.

Höyryä tuotetaan syöttämällä vettä hörykattilaan, jossa paineistettu vesi ensin kuumennetaan kiehumispisteeseensä ja sitten höyrytetään. Höyrytämisen jälkeen höyryn lämpötilaa nostetaan kiehumispistettä korkeammaksi, eli tulistetaan, tulistimessa. Kuviossa 4. on esitetty hörykattilan toimintaperiaate.



Kuvio 4. Hörykattilan toimintaperiaate (Hörykattilan toimintaperiaate)

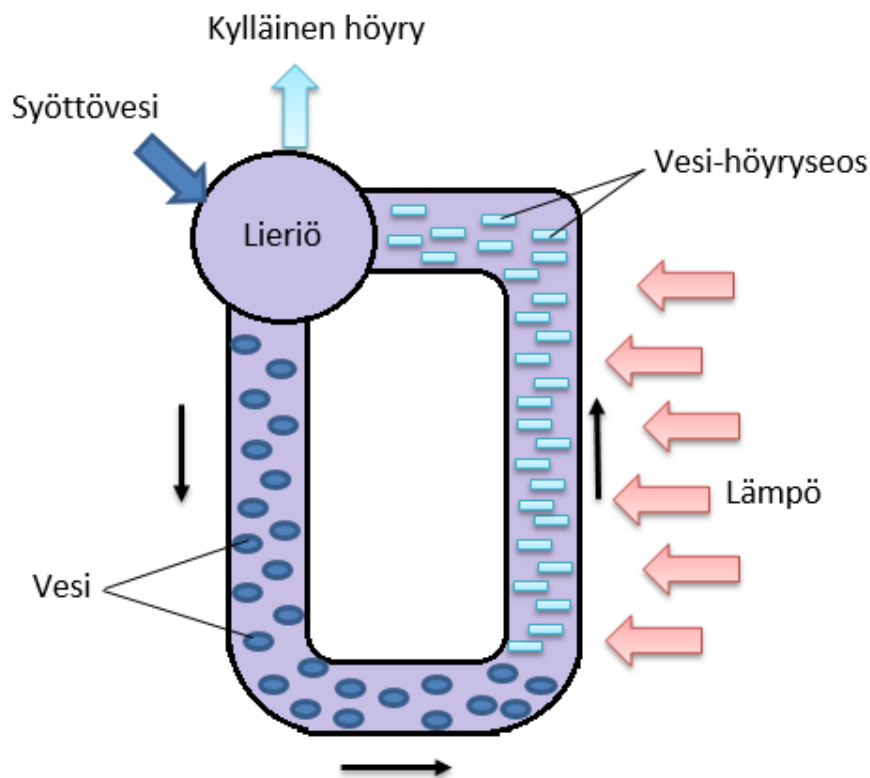
Höyryvoimalaitokset käyttävät energiaa veden lämmittämiseen, höyrystämiseen ja tulistukseen. Energian tuottamiseen käytettäviä polttoaineita on useita, joista hiili on yleisimmin käytetty sen edullisuuden vuoksi. Myös maakaasua, öljyä, turvetta ja puuhaketta käytetään polttoaineena. (Höyrykattilan toimintaperiaate N.d.)

Voimalaitoskattilat ovat suurten paineiden ja korkeiden lämpötilojen vuoksi yleensä vesiputkikattiloita, jotka voidaan jakaa niiden toimintaperiaatteen mukaan joko luonnonkierto-, pakkokierto- ja läpivirtauskattiloihin. (Perttula 2000, 176.) Tulipesän mukaan kattilat jaotellaan arinakattilaan, kiertopetikattilaan ja leijupetikattilaan.

### **Luonnonkiertokattila**

Luonnonkiertokattilassa höyrystyvä vesi virtaa tulipesää ympäröivässä putkistossa, jossa veden ja höyryn välinen tiheysero saa ne liikkumaan. Tärkeimmät komponentit vesi/höyrypiirissä ovat veden esilämmitin, lieriö, höyrystin ja tulistin.

Kattilaan syöttövesipumpun avulla pumpattava syöttövesi johdetaan ensin savukaasulämmitteiseen syöttöveden esilämmittimeen, jonka avulla savukaasujen lämpötilaa saadaan laskettua ja kattilan hyötysuhdetta parannettua. Esilämmityksen jälkeen lämmennyt vesi johdetaan lieriöön, josta se johdetaan laskuputkia pitkin höyrystinputkien alapäähän. Höyrystinputket ympäröivät tulipesää ja niissä osa vedestä höyrystyy. Kylläisen veden ja vesihöyryn seos nousee takaisin lieriöön, jossa muodostunut höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Lieriön yläosaan nouseva höyry virtaa tulistimille ja höyrystymättä jäänyt siirtyy lieriöön syötettävän uuden syöttöveden mukana uudelleenkiertoon. Luonnonkiertokattilassa ei tarvita pumppua kierrättämään vettä höyrystimessä, koska kierto perustuu veden ja höyryn tiheyseroon, mikä saa höyrystinputkessa olevan veden ja höyryn seoksen nousemaan kylläistä vettä kevyempänä ylöspäin. Alla olevassa kuviossa 5. on havainnollistettu luonnonkiertokattilan toimintaperiaate.



Kuvio 5. Luonnonkiertokattilan toimintaperiaate

### Pakkokiertokattila

Pakkokiertokattilan toimintaperiaate on samantapainen kuin luonnonkiertokattilan, mutta siinä veden kierto höyrystimessä tapahtuu pumpun avulla. Syöttövesi johdetaan lieriöön syöttövesipumpun avulla veden esilämmityksen jälkeen kuten luonnonkiertokattilassa. Vesi johdetaan höyrystimeen pakkokiertopumpun avulla, jonka aikaansaama paine saa veden ja höyrystyneen vesihöyryn virtaamaan takaisin lieriöön. Pakkokiertokattilat soveltuvat korkeammille paineille kuin luonnonkiertokattilat. (Höyrykattilan toimintaperiaate)

### Läpivirtauskattila

Korkeampaan tuorehöyryn paineeseen on käytettävä läpivirtauskattilaa, koska luonnonkierto ei toimi enää paineen noustessa yli 160 bariin. Tämä johtuu siitä, että kun höyryn paine kasvaa, veden ja höyryn tiheydet lähestyvät toisiaan eli tiheysero pienenee. Kriittisessä paineessa höyryn ja veden tiheys on sama.

Läpivirtauskattila on periaatteeltaan ulkoapäin lämmitettävä putki tai putkistoryhmä, jonka toiseen päähän pumpataan vettä ja toisesta päästä tulee ulos tulistettua höyryä. Sen rakenteellisena erona luonnonkierto- ja pakkokierto-kattiloihin on lieriön puuttuminen, joten lieriön ja höyrystimen välistä kattilan sisäistä kiertoa ei ole. (Huh-  
tinen ym. 2013, 90.)

### 3.3 Höyryn siirtojärjestelmä

Höyryn siirtojärjestelmä voi koostua esimerkiksi höyryn ja lauhteen siirtoputkistoista, höngityssäiliöistä, säätöventtiileistä ja toimilaitteista, lämmönsiirtimistä, lauhduttimista, lauhdesäiliöistä ja lauhteenpoistimista. Siirtojärjestelmän tehtävänä on kuljettaa höyryä prosessin höyryn loppukäyttäjille. (Leskelä ym. 2012, 8.)

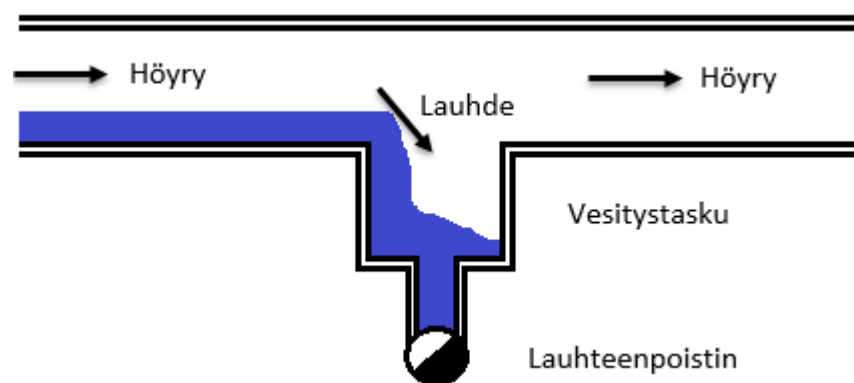
Höyry- ja lauhdeverkostossa tyypillisiä vuotokohtia ovat vaurioituneet putket, lauhteenerottimet, laippaliitokset sekä varo- ja sulkuventtiilit. Tyypillisimpiä vuotokohtia ovat lauhteenerottimet, jotka vuotaessaan aiheuttavat vastapaineen, höyrynkulutuksen ja pumppaustarpeen kasvua.

Höyryjärjestelmään alkaa muodostua höyrystä lauhtunutta vettä, eli lauhdetta, välittömästi kun se pääsee kattilasta höyryputkeen. Lauhde voi tukkia putken ja siten estää höyryn pääsyn lämmitettävään kohteeseen. Lisäksi se myös vaurioittaa putkea ja siihen liitettyjä laitteita sekä heikentää lämmönsiirtoa. Lauhde poistetaan putkistoista lauhteenpoistimilla. Poistimien ei tulisi päästää läpi höyryä. Lauhteenpoistimia on toimintaperiaatteeltaan erityyppisiä, kuten veden ja höyryn tiheyseroon perustuvia lauhteenpoistimia sekä höyryn ja lauhteen lämpötilaeroon perustuvia. Lauhteenpoistimen eteen tulisi sijoittaa sihti, joka estää roskien pääsyn poistimeen, sillä yksi niiden tyypillisimmistä vikaantumistavoista on tukkeutuminen. Sihdeistä tulee varmistua, että ne ovat asennettu oikein, sillä väärinpäin asennettu sihti kasvattaa vesi-



iskun vaaraa. Jos sihti on asennettu pesä alaspäin, se kerää lauhdetta ja aiheuttaa virtausvastusta. Ongelmien välttämiseksi sihdit asennetaan höyryputkiin vaakatasoon eli sihtilieriön pesä sivulle.

Lisäksi höyryn vuoto sekä lauhteen puutteellinen erotus ovat yleisiä vikamuotoja lauhteenpoistimilla. Varsinkin järjestelmän käyttöönottovaiheessa muodostuu kondenssivettä, joka on poistettava pisaranerottimilla ja vesityksillä. Kuviossa 6. on esitetty höyryputken vesitys.



**Kuvio 6. Höyryputken vesitys**

Lauhteenerottimet tulisi huoltaa säännöllisesti. Lauhteenerottimen kunnon tarkastus voidaan suorittaa visuaalisesti, akustisesti, termisesti tai valvontalaitteistolla. Kunnonvalvontatulosten perusteella kartoitusväliä voidaan harventaa. Lauhteenerottimilla poistetaan myös putkistoon päässyttä ilmaa ja muita kaasuja. Ilma aiheuttaa höyryputkistoon kylmiä kohtia, alentaa höyryn tehollista lämpötilaa, rasittaa putkistoa ja aiheuttaa korroosiota. Ilma voi myös tukkia höyryputken ja estää höyryn virtaamisen.

Energiatehokkuden näkökulmasta höyry- ja lauhdejärjestelmiin vaikuttaa moni asia, kuten painetasot, lauhteenpalautuksen osuus ja lauhteenpoistimien kunto, lämmönsiirtimet ja millä tavalla lämpötilan säätö on toteutettu. Myös höyryjärjestelmän ajo-

tapa vaikuttaa energiatehokkuuteen. Putkien eristäminen parantaa energiatehokkuutta ja tehtaan työskentelyolosuhteita. Putkistojen lisäksi putkivarusteet, kuten venttiilit ja laipat tulee eristää. Eristämättömät putket ja putkiosuudet lisäävät lämpöhäviöitä, joten eristeiden kunto täytyy tarkastaa säännöllisesti. Eristeiden kuntoa voidaan tutkia esimerkiksi lämpökuvaamalla. Energiatehokas höyryjärjestelmä hyödyntää myös hönkähöyryn, jota muodostuu, kun korkeapaineista lähellä kylläistä pistettä olevaa lauhdetta johdetaan matalampaan paineeseen. Hönkähöyryä voi käyttää esimerkiksi tehdashallin, palamisilman ja prosessi-ilman ja -veden esilämmitykseen, lauhteen lämmitykseen tai käyttää suoraan matalapainehöyryä tarvitsevassa kohteessa. Tyypillisesti hönkähöyryä muodostuu noin 10 % lauhteesta, mutta määrä riippuu esimerkiksi paine-erosta. Hönkähöyryn hyödyntäminen lisää lauhdevesiverkoston kapasiteettia ja vähentää höyrynkulutusta. (Federley, J. 2009, 6-14.)

### **Höyryn jakeluputkisto**

Höyryputken materiaali riippuu höyryn kulutuskohteen vaatimuksista. Tavallisesti höyryverkosto on höyrylle soveltuvaa teräsputkea kuten kuumalujaseostamatonta hiiliterästä. Ruostumatonta tai haponkestävää terästä käytetään, jos höyryn puhtausvaatimukset ovat tiukemmat. Standardin SFS 5561 mukaan höyryputkistossa käytetään seuraavia materiaaleja:

- kuumalujaseostamaton hiiliteräs (St 35.8)
- austeniittinen ruostumatonta CiNi-teräs (AISI 304L)
- austeniittinen haponkestävä CiNiMo-teräs (AISI 316L).

Höyryputkistojen putkikoko määräytyy verkoston maksimikulutuksen mukaan. Mitoituksessa voidaan käyttää höyryn nopeutta tai mitoittaa putket paineen mukaan. Ylimoitettut höyryputkistot nostavat kustannuksia ja niihin muodostuu enemmän lauhdetta johtuen suuremmasta lämpöhäviöstä. Alimitoitettut putket eivät pysty siirtämään tarpeeksi höyryä kulutuskohteelle ja putket aiheuttavat suuria painehäviöitä, jonka seurauksena laitoksen teho laskee. Höyryn suuri virtausnopeus alimitoitetuissa putkissa aiheuttaa kulumista, vesi-iskuja ja melua.

Ainetta, jonka nestepinnasta höyrystyy yhtä monta molekyyliä kuin höyrystä samanaikaisesti lauhtuu nesteeksi, kutsutaan kylläiseksi höyryksi. Kun lämpötila nousee kriittisen rajan yli, kyllästetty höyry muuttuu tulistetuksi höyryksi. Kyllästetyn höyryn lämpötilassa oleva kondenssivesi on alttiina höyrystyä erittäin nopeasti järjestelmän paineen laskiessa. Jokainen venttiilin avaus voi aiheuttaa paineenlaskun, jonka seurauksena putkistot ja sen komponentit voivat vaurioitua ja aiheuttaa merkittävän turvallisuusriskin sekä laitoksen henkilökunnalle että laitteistolle. (Steam 2016.) Paineiskuja aiheuttaa myös pumpun pysähtyminen tai putken rikkoutuminen. Paineiskusta aiheutuva paineen nousu tulee ottaa huomioon putken seinämää mitoittaessa, jos paineenmuutos on suurempi kuin 5 % suunnittelupaineesta. Paineiskuja voidaan vähentää pidentämällä venttiilin avautumis- ja sulkeutumisaikoja, kasvattamalla pumpun pysähtymisaikaa, estämällä takaisinvirtausta nopealla takaiskuventtiilillä sekä liittämällä painepuolen putkistoon painevaraaja. (Putkivirtaukset 2007, 84-85.)

Höyryputken tulee laskea virtaussuuntaan noin 3-5 mm metriä kohden, jotta lauhde pääsee poistumaan esteettä. Putkistojen lämpölaajeneminen täytyy ottaa huomioon putkiston ja kannakoinnin suunnittelussa. Käyttämättömät putkiosuudet aiheuttavat lämpöhäviöitä sekä lisäävät vuoto- ja turvallisuusriskiä, joten ne tulee erottaa verkosta.

### 3.4 Havuvaneritehtaan höyryjärjestelmä

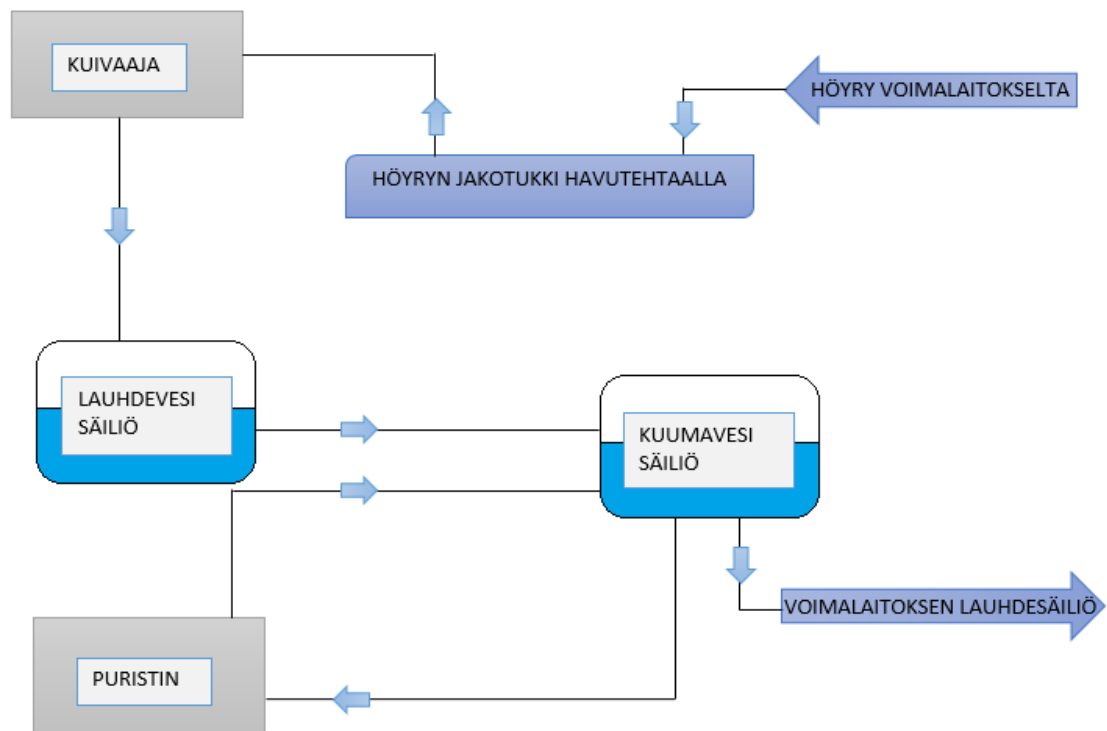
Havuvaneritehtaalla prosessihöyryä tarvitaan viilunkuivaajilla, jossa viilua kuivataan höyryn avulla. Tarvitsemansa höyryn tehdas saa voimalaitokselta. Höyry on tulistettua ja sen arvot ovat 18 bar ja 250 °C. Voimalaitoksen jakotukilta höyry johdetaan putkea pitkin havuvaneritehtaan jakotukille. Putken nimelliskoko on DN 200 ja linjan pituus on noin 300 metriä. Höyryn siirtoputkistojen materiaalina on käytetty kuumalujaseostamatonta terästä (St 35.8). Havutehtaan höyry-, lauhde- ja kuumavesijärjestelmän päälaitteita ovat 18 bar höyrynjakotukki, 4 m<sup>3</sup> lauhdesäiliö, 20 m<sup>3</sup> kuumavesisäiliö sekä järjestelmään kuuluvat pumput.

Höyrytukan nimelliskoko on DN 300 ja nimellispaine PN 25. Tukan käyttölämpötila on 250 °C ja se on varustettu varoventtiilillä sekä tarvittavilla tyhjennyksillä. Höyrytukilta otetaan höyry kuivaajalle, mutta koska kuivaajan tarvitsema höyry ei saa olla tulistettua, se jäähdytetään kylläiseksi höyryksi höyrymuuntoasemissa. Jäähdytyksen jälkeen höyry menee kuivaajalle, jossa on höyryn paineen, määrän ja lämpötilan mitaus. Lauhde, jota kuivaajalla muodostuu, kootaan kokoojaputkeen, josta se menee omalla paineellaan lauhdesäiliöön.

Lauhdesäiliöstä menee hönkäputki kuumavesisäiliöön, jonka kanssa se on samassa paineessa (6 bar). Kuumavesisäiliössä pidetään höyryllä vakiopainetta, joten kuivaajilta tuleva korkeapaineinen (9 bar) lauhde höyrystyy osaksi ja menee kuumavesisäiliöön. Loput kuivaajilta tulevasta lauhteesta pumpataan kuumavesisäiliöön.

Puristimien tarvitsema kuumavesi saadaan kuumavesisäiliöstä. Kuumavesikierron lämpötilaksi on valittu 158 °C, joka määräytyy kuumavesisäiliön 6 barin painetasosta. Säiliön paineenpito höyry otetaan höyrytukista paineenalennus/ruiskutusventtiilin kautta. Puristimissa jäähtyvä vesi lämmitetään kuumavesisäiliössä lauhdesäiliöstä tulevalla höngällä, lauhteella ja höyrytukista tulevalla höyryllä. Puristimilla on oma kiertovesipumppu sekä lämpötilansäätö. Kuumavesi palautetaan puristimilta kuumavesisäiliöön.

Havuvaneritehtaalle tuleva höyry palautetaan lauhteena kuumavesisäiliöstä voimalaitoksen lauhdesäiliöön. Kuviossa 7. on esitetty havuvaneritehtaan yksinkertaistettu prosessikaavio, joka on rajattu koskemaan tässä työssä huomioitavia kohteita.



**Kuvio 7. Havutehtaan yksinkertaistettu prosessikaavio**

## 4 Painelaitedirektiivi

Painelaitteista on säädetty kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksellä 30.9.1999/938. Teollisuuspainelaitteet ovat teollisuudessa tai yrityskäytössä toimivia painelaitteita ja laitekokonaisuuksia, kuten höyry- ja vesikattilat, autoklaavit, kylmälaitosten painelaitteet, laitoksen alueella olevat paineelliset putkistot ja säiliöt sekä varolaitteet kuten venttiilit. Vaativimmat painelaitteet täytyy rekisteröidä. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes valvoo painelaitesäädösten noudattamista. Tukesin hyväksymiä painelaitteiden käytönaikaisia tarkastuksia tekeviä yrityksiä opinnäytetyön tekohetkellä toukokuussa 2016 ovat:

- Inspecta Tarkastus Oy
- Dekra Industrial Oy
- Insteam Oy
- Testlink Oy.

Käytönaikaisia painelaitteiden määräaikaistarkastuksia ovat käyttötarkastus, sisäpuolinen tarkastus, määräaikainen painekoe sekä tarvittaessa muutostarkastus (ks. taulukko 1.). Jos rekisteröityyn painelaitteeseen liittyvä putkisto on suunniteltu virumis- tai väsymislujuuden mukaan tai putkiston sisältö kuuluu ryhmään 1, tulee putkisto tarkastaa määräaikaistarkastuksen yhteydessä. Vastuu määräaikaisten tarkastusten tilaamisesta Tukesin hyväksymiltä tarkastuslaitoksilta on painelaitteen omistajalla.

**Taulukko 1. Pinalaitteiden määräaikaistarkastukset (Painelaitteiden tarkastukset N.d.)**

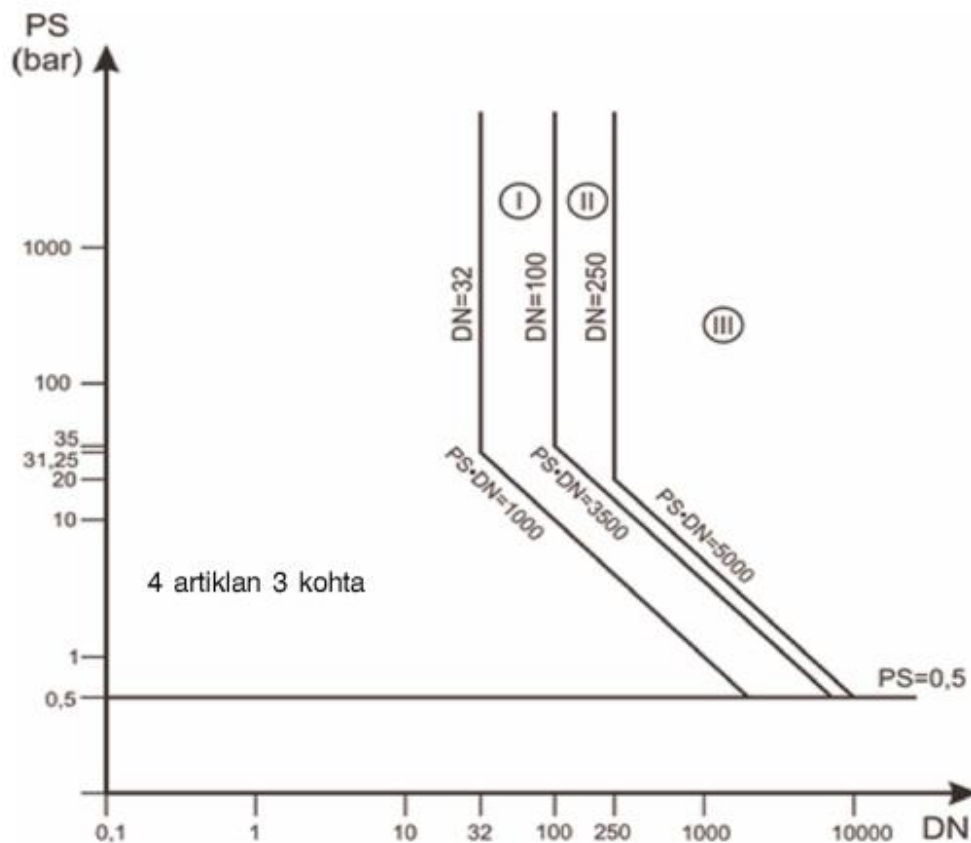
Tarkastus	Toimenpide	Tavallinen aikaväli	
		Painesäiliöt	Kattilat
Ensimmäinen määräaikaistarkastus	Tarkastetaan, että painelaite voidaan ottaa turvallisesti käyttöön.	Käyttöönoton yhteydessä	Käyttöönoton yhteydessä
Käyttötarkastus	Käyttöä vastaavissa olosuhteissa tarkastetaan, että painelaitteen ja sen käytön osalta asiat ovat kunnossa.	4 vuotta	2 vuotta
Sisäpuolinen tarkastus	Laite tyhjennetään, puhdistetaan ja sen kunto tarkastetaan perusteellisesti.	4 vuotta	4 vuotta
Määräaikainen painekoe	Tehdään painekoe ja tutkitaan mahdollisia vuotoja ja muodonmuutoksia.	8 vuotta	8 vuotta
Muutostarkastus	Kunto ja turvallisuus tarkastetaan korjausten ja erilaisten muutosten yhteydessä.	Tarvittaessa	Tarvittaessa

Putkistojen osalta painelaitesäädöksiä sovelletaan, jos putkiston suurin sallittu käyttöpaine ylittää 0,5 bar, mikä tarkoittaa, että putkistot on suunniteltava, rakennettava ja tarkastettava painelaitesäädösten mukaisesti. Painelaitesäädösten vaatimusten täyttymisestä vastuu on putkiston valmistajalla. Valmistaja vakuuttaa painelaitteen vastaavan painelaitedirektiivin vaatimuksia antamalla kirjallisen vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja kiinnittämällä CE-merkinnän. Eurooppalainen standardi SFS EN 13480 Metalliset teollisuusputkistot on yhdenmukaistettu standardi, jota sovelta- malla putkistojen valmistaja täyttää painelaitteista annetun päätöksen (938/1999) olennaiset turvallisuusvaatimukset. Painelaitedirektiivissa painelaitteet luokitellaan kasvavan vaaran mukaan luokkiin I-IV. Määräviä tekijöitä luokittelussa ovat:

- painelaitteen tyyppi (putkisto, kattila, säiliö, paineenalainen lisälaite, varo- laite)
- painelaitteen sisältö (ryhmä 1 tai 2, neste tai kaasu)

- suurin sallittu paine PS (bar)
- tilavuus (L) tai nimelliskoko (DN).

Luokittelu tehdään painelaitedirektiivin liitteen II mukaan. Jos luokittelu osuu rajaviivalle, tehdään se keveämmän mukaan. Kuviossa 8 on esitetty painelaitepäätöksen (938/1999) liitteen II mukainen taulukko vaaratonta kaasua, kuten höyryä, sisältävän putkiston luokittelusta. Paineraitedirektiivin liitteen II kuva 7 koskee ryhmän 2 aineita, kun DN on yli 32 ja tulo PS DN on yli 1 000 bar.



**Kuvio 8. Putkistossa olevan vaarattoman kaasun luokittelu**

Kemikaalin vaarallisuus määritellään painelaitesäädösten mukaan ryhmään 1, eli vaaralliseksi katsottaviin sisältöihin tai ryhmään 2, eli muihin sisältöihin. Ryhmään 1 kuuluvat vaaralliseksi katsotut kemikaalit on luokiteltu kemikaaliasetuksessa 675/1993. Kaasuiksi luokitellaan kaasut, nesteytetyt kaasut, paineenalaisina liuotetut kaasut,

höyryt sekä nesteet, joiden höyrynpaine korkeimmassa sallitussa lämpötilassa ylittää 0,5 bar ylipaineen. Nesteeksi katsotaan muut nestemäiset kemikaalit. (Painelaitesäädökset ja sisällön vaikutus putkiston luokitukseen 2007, 7.)

Tavallisesti putket, venttiilit ja muut putkimaiset paineenalaiset lisälaitteet luokitellaan nimellissuuruuden DN mukaan. Nimelliskoko kuvaa putkiston osien keskinäistä suuruutta. Kun putkisto koostuu useista nimellissuuruudestaan vaihtelevista putkista luokitellaan putkisto suurimman nimelliskoon mukaan. (Painelaitedirektiivin soveltamisohjeet 2015, 91.)

Luokittelukuvan perusteella painelaitteet luokitellaan kasvavan riskin mukaan luokii I-IV, joiden mukaan moduuli määäräytyy. Moduuli määrittelee, millä tavalla painelaitteen vaatimustenmukaisuus arvioidaan. Menettelyt on esitelty päätöksen (938/1999) liitteessä III.

Painelaitteen omistajan ja haltijan on huolehdittava sijoituksen ja käytön turvallisuudesta sekä rekisteröityjen painelaitteiden määräaikaistarkastuksien toteutumisesta ajallaan. Rekisteröitävästä painelaitteesta tulee olla riittävät asiakirjat määräaikaistarkastuksia ja painelaite –kirjaa varten. Rekisteröitävälle painelaitteelle nimetään pätevä käytön valvoja. (Painelaitteen valmistajan, omistajan ja haltijan vastuu N.d.)

Teollisuuspainelaitteen elinkaari päättyy käytöstä poistoon, mikä tarkoittaa muun muassa painelaitteen romuttamista, paineenalaisen käytön päättymistä tai painelaitteen viemistä ulkomaille. Painelaitteen omistajaa, haltijaa, sijaintia ja käytönvalvojaa koskevien tietojen muutoksista sekä painelaitteen käytöstä poistamisesta tulee tehdä ilmoitus Tukesille rekisteröidyn painelaitteen omistajan tai haltijan toimesta. (Tukes 2013.)

Painelaitedirektiivissä on hyvin vähän yksityiskohtaisia teknisiä vaatimuksia turvallisuuteen nähden ja hyväksyttävä turvallisuustaso saavutetaan seuraamalla yhdenmukaistettuja standardeja. Yhdenmukaistettujen tuotestandardien käyttö ei ole pakollista, mutta valmistajan velvollisuus on osoittaa, että tuote täyttää direktiivin olennaiset turvallisuusvaatimukset.



## 5 Kunnossapito

### 5.1 Vikojen kehittyminen

Laitteet pyritään suunnittelemaan toimimaan moitteettomasti niin, että kun ne on suunniteltu ja valmistettu oikein, käytetään oikeita materiaaleja, ylläpidetään ja käytetään laitteita oikein ja oikeanlaisissa olosuhteissa, ei rikkoontumisia tapahdu. Jokainen vika syntyy ja kehittyy omalla tavallaan. Vaurioitumista ja kunnossapidon määrää voidaan vähentää merkittävästi kun ymmärretään vian kehitysketju. Tämän päivän kunnossapidossa korostetaan vikaantumisen estämisen tärkeyttä ja pyritään vähentämään korjaavaa kunnossapitoa.

Teräsrakenteet on suunniteltu yleensä tiettyyn elinaikaan, jonka pituus riippuu mitoituksista. Kun rakenne otetaan käyttöön, siinä alkaa heti tapahtua säröilyä, jonka kasvamista voidaan hallita mitoituksella. Mitoituksessa otetaan huomioon käytön määrä ja kuinka rasittavaa se on. Säröytymisen kehittyminen pienenee ja rakenteen elinikä kasvaa, kun rakenne on mitoitettu riittävän vahvaksi ottaen huomioon esimerkiksi taipuman ja sallitun jännityksen. Rajallisen eliniän rakenteissa säröytyminen on sallittu suunnitteleamalla laite niin, että se on käyttöikänsä ajan turvallinen ja elinajan lopussa rikkoutuminen on selvästi havaittavissa. Jos eliniän lopussa ei esiinny säröilyä, on rakennetta käytetty vähemmän kuin on suunniteltu, rasitus on ollut sallittua vähäisempää, käytön laatu on ollut parempaa tai rakenne on ollut ylimitoitettu.

Koneiden ja laitteiden toimintaympäristöjen ja –olosuhteiden muuttuessa tuloksena on usein hallittua tai hallitsematonta kulumista, joka voi aiheuttaa laitteen eliniän lyhenemistä. Esimerkiksi ylikuormitus tai äkillinen lämpötilan nousu saattaa kiihdyttää rakenteen säröytymistä, jolloin rakenteen toiminta saattaa muuttua. Laiterikot aiheutuvat usein piilevistä vioista, jotka ovat jostain syystä jääneet näkymättömiksi ja hoitamattomiksi. Tällaisia syitä voivat olla puutteellinen tarkastaminen, huonot rat-

kaisut tehtaan pohjapiirroksessa, pöly ja epäpuhtaudet, ongelmien aliarviointi ja tarkastamisen hankaluus esimerkiksi puuttuvan tarkastuslaitteiston tai osaamisen takia. Piilevät viat ovat rikkoontumisien suurin syy ja ne tulisi eliminoida silloin kun ne ovat vielä pieniä. (Järviö & Lehtiö 2012, 72-83.) Kunnonvalvonnalla voidaan tarkkailla piilevien vikojen kehittymistä. Esimerkiksi rakenteesta voidaan tarkastamalla löytää särö, joka voidaan korjata ennen kuin se aiheuttaa koko rakenteen rikkoutumisen.

## 5.2 Kunnonvalvonta

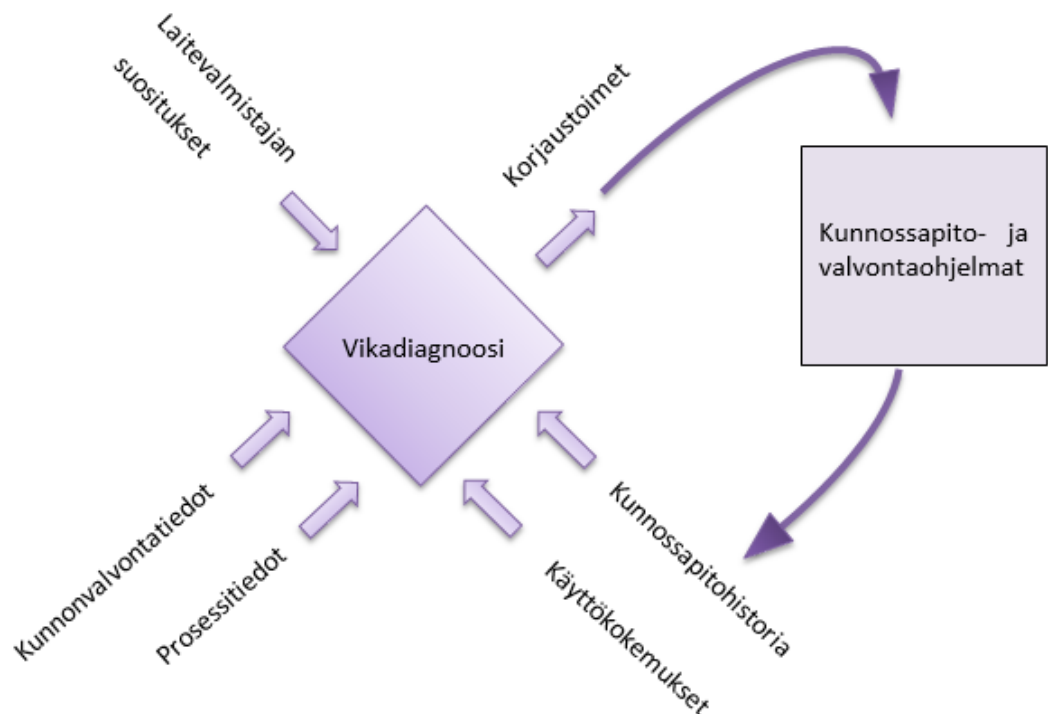
Kunnonvalvonnan tarkoituksena on havaita mahdollisimman varhaisessa vaiheessa koneen kunnossa tapahtuvat muutokset. Kunnossapitotöiden suunnitteluun jää sitä enemmän aikaa, mitä aikaisemmin muutokset huomataan. Koneiden kunnossapitoon tarvittavia tietoja ovat hälytys, diagnoosi, prognoosi eli ennuste ja korjaavien toimenpiteiden suunnittelu. Hälytys tarkoittaa tässä tapauksessa esimerkiksi havaittuja muutoksia mittaustuloksissa, joiden avulla tehdään diagnoosi kohteen tilasta.

Kunnonvalvonnan toteutus tulisi aloittaa mittaamalla ja tarkastelemalla mitattuja tuloksia. Esimerkiksi laakereille voidaan tehdä värähtelymittauksia, joita tarkastellaan ja verrataan muutoksia edellisiin mittaustuloksiin. Mittausreitit ovat ennalta suunniteltuja ja ne voivat olla saman päivän aikana toteutettavia sisältäen tulosten analysoinnin. Mittausreittien ja mittausten toteutuksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon, kuinka paljon resursseja voidaan sitoa. Mittaustuloksia verrataan aiempiin tuloksiin sekä hälytysrajoihin, tai jos aiempia tuloksia ei ole saatavilla voidaan tuloksia verrata alan standardeihin tai vastaavien laitteiden mittaustuloksiin. Esimerkiksi putkistot valmistetaan yleensä putkistostandardien mukaan, jolloin putkistojen ainevahvuuksia mitattaessa voidaan saatua mittaustulosta verrata standardin ainevahvuuteen.

Jos mittaustuloksissa havaitaan poikkeamia, kuten esimerkiksi hälytysrajan ylittyminen, aloitetaan diagnoosi, jonka ensimmäinen vaihe on varmistaa mittaustuloksen

oikeellisuus. Oikean tuloksen varmistamiseksi mittaus suoritetaan uudelleen ja tuloksia verrataan aikaisempiin havaintoihin ja johtopäätöksiin. Mittaustuloksia täydennetään suorittamalla mittausta eri paikoista ja eri menetelmiä hyödyntämällä sekä selvittämällä miten eri prosessiolosuhteet vaikuttavat mittaustuloksiin. Todettaessa kyseessä olevan todellinen poikkeama, tulee mittaustoimintaa tehostaa esimerkiksi lyhentämällä mittausväliä, muuttamalla mittaustapaa tai ottamalla käyttöön täydentäviä mittausmenetelmiä.

Jotta mahdolliset viat saataisiin selvitettyä, suoritetaan oireiden määrittäminen ja diagnoosi, jossa tulee ottaa huomioon myös prosessin ja käyttöolosuhteiden vaikutus mittaustuloksiin. Vikadiagnoosin ja ennusteen tekoon tarvitaan kattavasti tietoa oireista sekä muista diagnoosiin vaikuttavista tekijöistä. Kuviossa 9. on havainnollistettu eri tietojen yhdistäminen vikadiagnoosiin.



Kuvio 9. Tietojen yhdistäminen vikadiagnoosiin (Mikkonen 2009, 170.)

Vikadiagnoosin perusteella tehdään johtopäätökset ja määritetään toimenpiteet. Johtopäätöksiä tehdessä määritetään, kuinka vakava vika on kyseessä ja mikä sen aiheuttaa, tehdään arvio sen kehittymisestä ja ennuste siitä, kuinka kauan käyttöä voidaan turvallisesti jatkaa. (Mikkonen 2009, 167-172.)

Proгноosi tarkoittaa turvallisen käyttöiän ennustetta. Kunnossapitotoimenpiteet halutaan suorittaa taloudellisesti optimaalisesti, jolloin korjaustoimenpiteiden ajoitus nousee haasteeksi. Tuotantoprosessien katkoja ja turhia huoltotoimenpiteitä halutaan välttää. Käytännössä tämä tarkoittaa, että halutaan ennustaa, milloin jokin komponentti on huollon tarpeessa. Kunnonvalvonnassa keskeisenä tavoitteena on määrittää laitteen luotettava käyttöaika. Erityisen hyödyllisiä vaurioitumisen ennusteet ovat tapauksissa, joissa vikaantuminen etenee hitaasti ja ensimmäinen oire mahdollisesta vauriosta on havaittavissa varhain. Esimerkiksi prosessimittausten tai kuntotarkastusten avulla pyritään havaitsemaan poikkeama, jotta alkavat viat havaitaan mahdollisimman varhain. Kun mittaustuloksissa on havaittu merkittäviä muutoksia, joiden epäillä johtuvan muutoksista laitteen kunnossa, siirrytään diagnoosivaiheeseen. Diagnoosivaihe pyrkii määrittämään muutoksen aiheuttajan ja se pohjautuu yleensä kunnonvalvonnan mittaustulosten analysointiin sekä aikaisempiin käyttökokemuksiin mitattavasta laitteesta. Prognosointivaiheessa arvioidaan, kuinka kauan laitteella on turvallista käyttöaika jäljellä. Lopputuloksena prosessista syntyy prognosi, joka ennustaa, kuinka nopeasti havaittu vika johtaa vaurioon.

Lähtötietoina luotettavaa prognosointia varten tarvitaan kunnonvalvonnan mittaukset, tietoa koneen rakenteesta sekä käyttö- ja kunnossapitohistoriasta, mittaustietoa laitteen käyttöolosuhteista sekä tuntemusta vaurioitumismekanismeista. Käytännössä luotettavaa prognosia varten mittaustietoa tulee tallentaa riittävän tarkasti ja kauan. Ennusteen luotettavuus kasvaa oleellisesti tiedon määrän kasvaessa, mutta käytännössä lopullista vaurioitumishetkeä ei voida ennustaa tarkasti.

Prognostiikan suorittamista varten on ymmärrettävä, miten valvottavan komponentin vaurioituminen etenee ajan funktiona. Esimerkiksi korroosio etenee vakionopeudella vakio olosuhteissa, mutta olosuhteiden muuttuessa ei korroosio etene enää li-

neearisesti käyttöajan funktiona. Kunnonvalvonnan mittauksilla voidaan arvioida vi-  
kaantumisen kehittymistä. Kun arvioidaan kulumisen kehittymistä, tulee ottaa huo-  
mioon:

- kyseisen kohteen käyttöolosuhteet
- prosessin vaikutus
- eri mittausmenetelmien tulokset
- kokemus vastaavista koneista
- koneen historiatiedot. (Mikkonen 2009, 483-488.)

### 5.3 NDT-menetelmät

Ainetta rikkomattomilla NDT (Non-Destructive Testing) -menetelmillä voidaan tes-  
tata, tarkastaa tai arvioida kohdetta rikkomatta sen rakennetta tai heikentämättä  
kohteen huollettavuutta. Nykyaikaisia NDT-menetelmiä käytetään valmistuksen, ra-  
kentamisen ja käynninaikaisten tarkastuksien tekemiseen varmistamaan kohteen  
eheys ja luotettavuus. Menetelmiä voidaan myös hyödyntää valmistusprosessien val-  
vontaan, tuotantokustannuksien alentamiseen sekä laadunseurantaan esimerkiksi  
laatupoikkeamien havaitsemiseen. Materiaalien epäjatkuvuuskohtia sekä rakenteelli-  
sia eroja on mahdollista testata näillä menetelmillä.

NDT-menetelmiä on useita, joista kuusi yleisintä ovat:

- magneettijauhetarkastus (MT)
- tunkeumanestetarkastukset (PT)
- radiografiset tarkastukset (RT)
- ultraäänitarkastukset (UT)
- pyörrevirtatarkastukset (ET)

- silmämääräiset tarkastukset (VT). (Introduction to Nondestructive Testing 2015.)

NDT-menetelmät ovat osa kunnonvalvontaa ja vuosihuoltoseisokkeja ja niiden avulla investointien sekä huoltojen kohdistaminen helpottuu. Parhaat tulokset saavutetaan yhdistämällä NDT-menetelmiä. Toiminta on standardoitua ja sitä suorittavilla tahoilla tulee olla asianmukaiset pätevyydet ja hyväksynät. Tarvittavat pätevyydet ja hyväksynät on lueteltu painelaiteturvallisuudesta annetussa päätöksessä (953/1999).

### **Magneettijauhetarkastukset**

Edulliset ja suhteellisen nopeat magneettijauhetarkastukset soveltuvat ferriittisten eli magneettisten aineiden tarkastamiseen ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi hit-saussiaumojen, teräsrakenteiden, koneenosien ja laitteiden tarkastuksiin. Magnetis-miin perustuvassa menetelmässä tarkastettavaan kohteeseen aiheutetaan magneet-tivuo, jolloin kappaleen pinnalle suihkutettu magneettijauhe kerääntyy epäjatku-vuuskohtiin ja säröt voidaan todeta visuaalisella tarkastuksella. Tarkastus voidaan suorittaa joko värillisellä magneettijauheella tai erityistä tarkkuutta vaativiin kohte-iin fluoresoivalla magneettijauheella, joka paljastaa virheet UV-valossa. Menetelmä soveltuu myös korkeassa paineessa ja lämpötiloissa toimivien putkistojen väsymis-vaurioiden tarkastuksiin. (Magneettijauhetarkastus MT N.d.)

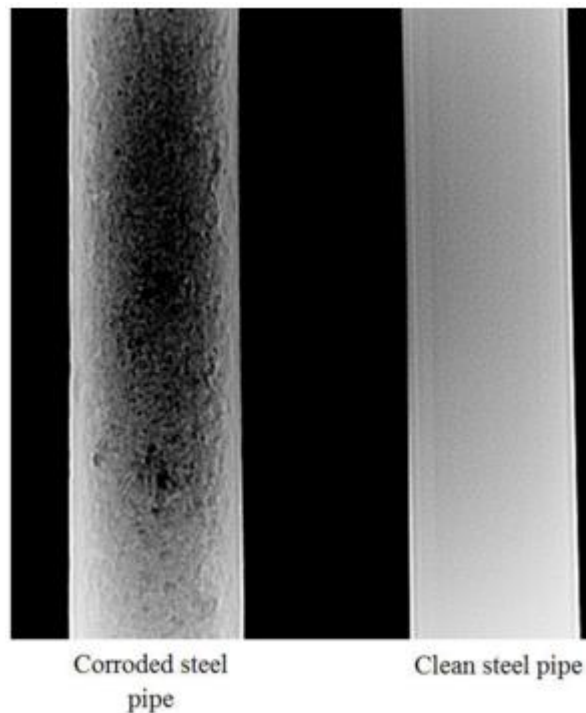
### **Tunkeumanestetarkastukset**

Tunkeumanestetarkastukset ovat helppo ja edullinen menetelmä lähes kaikkien ma-teriaalien pintaan avautuvien virheiden tarkastamiseen. Tarkastettavan kohteen pinta puhdistetaan, jonka jälkeen pinnalle levitetään pienipintajännitteinen väriaine eli tunkeumaneste ja annetaan sen imeytyä. Ylimääräinen väriaine poistetaan ja pin-

nalle levitetään virheet selkeämmin näkyviin tuova kehitysaine. Ylimääräinen kehitysaine poistetaan, jonka jälkeen tarkastettavaa pintaa tutkitaan visuaalisesti. Menetelmä soveltuu erityisesti hitsausseamien ja tasaisten pintojen tarkastuksiin silloin kun tarkastetaan yksittäisiä kohteita. Laajempiin tutkimuksiin menetelmä on hidas. (Lempinen ym. 2012, 2.)

### **Radiografiset tarkastukset**

Radiografiset tarkastukset soveltuvat erinomaisesti putkien korroosiokuvaukseen. Perinteinen röntgenkuvaus suoritetaan kuvaamalla putki röntgenputkella eristeiden läpi. Menetelmä paljastaa putken syöpymät selvästi ja seinävahvuus voidaan määrittellä röntgenkuvasta mittaamalla se putken profiilista. Seinämävahvuuden mittaus ei kuitenkaan onnistu putkien halkasijoiden ollessa suuria. Röntgenkuvaus soveltuu hyvin käynninaikaisiin tarkastuksiin, sillä kuvaus voidaan suorittaa putken ollessa käytössä, eikä putken lämpötilalla ole merkittävää vaikutusta kun sitä kuvataan eristeiden läpi. Röntgenmenetelmällä toteutettu korroosiokuvaus on hidasta ja kallista jos kuvattava alue on suuri, mutta se soveltuu pistokoemaisiin tarkastuksiin kun halutaan määrittää putkiston yleiskuntoa. (Pasonen ym. 2006, 11.) Kuviosta 10. havaitaan korroosion esiintyminen röntgenkuvatussa putkessa.



**Kuvio 10. Ruosteen esiintyminen röntgenkuvatussa putkessa. Vasemmalla kuvassa ruostunut putki ja oikealla puhdas, ruosteeton putki. (Corrosion N.d.)**

Digitaalinen radiografia eli digiröntgen on yksi keskeisimpiä uusia NDT-tekniikoita. Menetelmä on perinteistä röntgenkuvausta nopeampi ja tarkempi. Digitaalisissa röntgentarkastuksissa voidaan samasta alueesta ottaa useita valotuksia eri säteilytehoilla, jolloin saadaan eri ainevahvuudet samaan kuvaan. Valotusaika on myös huomattavasti lyhyempi kuin perinteisellä filmiröntgenillä. Digitaalinen röntgenkuva on tarkempi kuin filmiröntgen ja se muodostuu heti tietokoneelle, jolla voidaan tarkoitukseen soveltuvalla ohjelmalla muokata ja korostaa kuvatun kohteen piirteitä, jotta sitä on helpompi analysoida. Lyhyestä valotusajasta johtuen säteily on vain murto-osa filmiröntgenin vaatimasta ajasta, mikä helpottaa säteilysuojelua ja on ympäristölle turvallisempi. (Testauksen uusi aalto 2015.)

### **Ultraäänitarkastukset**

Ainevahvuuden sekä perusaineiden ja hitsien tarkastukseen soveltuvat ultraäänitarkastukset perustuvat kiinteiden materiaalien äänenjohtamiskykyyn. Kun ultraääntä lähetetään materiaaliin, se heijastuu epäjatkuvuuskohdista, kuten huokosista, halkea-



mista ja rajapinnoista. Menetelmä soveltuu esimerkiksi ainevahvuuden mittaamiseen, aineessa olevien valmistus- ja materiaalivirheiden mittaamiseen, hitsisaumojen tarkastuksiin sekä pinnoitteiden paksuuksien mittaamiseen. Ainevahvuuksien ollessa noin 1-200 mm, voidaan paksuutta mitata 0,1 mm tarkkuudella.

Ultraääniluotauksessa voidaan käyttää joko normaali- tai kaikuluotainta, riippuen tutkittavasta kohteesta. Kerrostumien paljastamiseen soveltuu parhaiten normaaliluotain. Halkeamien löytämiseen ja hitsausaumojen tutkimiseen soveltuu paremmin kaikuluotain. Tutkittavaan materiaaliin lähetetään luotaimen anturilla lyhyt ultraäänitaajuinen pulssi, joka etenee mekaanisena värähtelynä materiaalin sisällä ja heijastuu takaisin anturiin. (Mikkonen 2009, 450.)

Vaiheistetussa ultraäänitekniikassa luotaimet muodostuvat useista pienistä elementeistä, jotka lähettävät ja vastaanottavat signaaleja. Menetelmä on ollut joitain vuosia käytössä ja sen on todettu soveltuvan erityisesti piilevien vikojen havaitsemiseen, koska yksittäisen kohteen skannauksen tuloksena saadaan yhdistelmä eri kulmissa tehdyistä skannauksista.

Pitkän kantaman tekniikka ultraäänitarkastuksissa on myös melko uusi suuntaus ja se soveltuu erityisen hyvin putkistojen kunnon kartoituksiin. Putkistoja voidaan tarkastaa yhdellä kerralla jopa 100 metriä. Menetelmällä havaitaan korroosio ja muutokset putken poikkipinnassa kiinnittämällä putken ympärille lähetinrenkas, jonka avulla laitteiston luotaimet lähettävät matalataajuista ultraääntä putken seinämää pitkin. (Kehittyneet NDT-menetelmät kunnossapidon tukena 2013.)

### **Pyörrevirtatarkastukset**

Pyörrevirtatarkastuksilla voidaan tarkastaa materiaaleja, jotka johtavat sähköä, indusoimalla materiaaliin pyörrevirtoja. Kappaleessa olevat virheet aiheuttavat muutoksia magneettikenttään ja nämä muutokset voidaan havaita testikelalla. Menetelmä soveltuu virheille, jotka ulottuvat pintaan asti tai hieman pinnan alapuolelle. Pyörrevirtatarkastusten etuna on, että se toimii induktioperiaatteella, jolloin sen ei tarvitse olla kosketuksissa kappaleeseen. Valmistavassa teollisuudessa sitä käytetään laadunvalvontaan ja prosessien parantamiseen. (Pyörrevirtatarastus tuotantolinjalla

– uusia sovelluksia särötarkastukseen N.d.)

### **Silmämääräiset tarkastukset**

Silmämääräiset eli visuaaliset tarkastukset ovat helppo ja halpa toteuttaa, mutta niillä voidaan todeta vain materiaalien pinnalla olevat virheet. Visuaalisiin tarkastuksiin voidaan käyttää paljaan silmän lisäksi apuna esimerkiksi lisävalaistusta, suurenuslasia ja endoskooppia. Tarkastuksen suorittajalla täytyy olla kokemusta ja tietoa siitä, millä tavalla virheet esiintyvät tarkastettavassa kohteessa, jotta ne voidaan havaita. Putkistojen sisäpuolien tarkastukseen voidaan käyttää apuna putkistokameroita. (Lempinen ym. 2012, 1-2.)

Endoskooppi soveltuu esimerkiksi koneiden ja laitteiden sisäpuolisten koteloiden ja putkien tarkastuksiin. Endoskooppeja on kahdenlaisia, kiinteäputkisia eli boroskooppeja sekä taipuisia endoskooppeja. Molempien pituus voi olla jopa muutaman kymmenen metriä. (Mikkonen 2009, 447.)

Edellä esiteltyjen NDT- menetelmien lisäksi esimerkiksi lämpökamerakuvaukset soveltuvat putkistojen kunnonvalvontaan. Lämpökuvauksilla voidaan esimerkiksi selvittää eristeiden kuntoa paikantamalla lämpövuoto, havaita materiaalin ohenema tai materiaaliin syntynyt ilmatasku. Käynnin aikana voidaan suorittaa putken tarkastus ja havaita materiaalissa olevat virheet, jos putken sisältö on käyttöympäristöä selvästi lämpimämpää. Menetelmää hyödynnettäessä ainevahvuuden oheneman mittaamiseen on eristeet poistettava. Lämpökamerakuvauksella ei kuitenkaan voida havaita pieniä muutoksia ainevahvuudessa. (Lempinen ym. 2012, 6-7.)

## **5.4 Putkistojen kuluminen ja korroosio**

Putkistojen kuluminen on piilevää vikaantumista, eikä sitä voida ilman kunnonvalvontaa havaita ajoissa. Putkistotarkastuksissa mittaus- ja tarkastuskohdat määritellään

putkiston käyttötavan, käyttöolosuhteiden sekä tarkastuskokemusten perusteella. Olennaisia kohtia ovat esimerkiksi putkistojen:

- kuumat kohdat
- mutkat ja käyrät
- T-kappaleet
- putkivarusteiden ympäristö
- materiaalien muutosalueet
- koon muutosalueet (Hytönen 2016).

Teollisuusputkistoissa esiintyy kemiallisia reaktioita ja kulumista, jotka heikentävät putkiston kuntoa ja lyhentävät sen elinikää. Kemialliset reaktiot ja kuluminen vaihtelevat materiaalista ja olosuhteista riippuen. Sähkökemiallista korroosiota esiintyy useissa eri muodoissa, jotka jaotellaan yleisesti seuraavalla tavalla:

- yleinen syöpyminen
- paikallinen syöpyminen
- galvaaninen eli kontaktikorroosio
- pintaan kohdistuvan mekaanisen rasituksen aiheuttama korroosio
- raerajakorroosio
- valikoiva syöpyminen
- jännitystilan ja korroosion yhteisvaikutuksesta aiheutuva korroosio.

Yleisessä korroosiossa metallin pinta syöpyy tasaisesti. Sitä esiintyy usein suojaamattomilla sekä kemikaaleille altistetuilla pinnoilla. Esimerkiksi seinämävahvuus- ja painohäviömittauksilla voidaan seurata yleisen syöpymisen kehittymistä.

Paikallinen syöpyminen jaetaan pistesyöpymiseen ja rako- eli piilokorroosioon. Pistesyöpymisessä metallin pintaan syntyy paikallisia kuoppamaisia syvänteitä. Syöpyminen keskittyy pienille alueille ja se etenee harvoin massiivisten rakenteiden läpi. Syöpyminen yleensä pysähtyy kun kuopat ovat saavuttaneet tietyn syvyyden. Ohutseinämaisissä putkistoissa ja säiliöissä esiintyvä pistesyöpyminen voi aiheuttaa

läpi kulumista ja vuotoja. Syitä pistesyöpymisen alkamiseen voi olla esimerkiksi erilaiset pinnan heterogeenisuudet, kuten pinnankarheus, pinnan rakennevirheet, pinnalla olevat elektrolyyttipisarot ja liuoksen törmätessä voimakkaasti pintaan. Esimerkiksi alumiinin ja ruostumattoman teräksen korroosiokestävyys perustuu pintaa suojaavaan passiivikerrokseen, jonka rikkoutuessa alkaa syöpyminen. Tällaisilla metalleilla pistesyöpyminen on yleinen korroosimuoto.

Rakokorroosiota ilmenee ahtaissa raoissa, joihin tunkeutunut liuos ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella kuin muilla metallipinnan alueilla. Kun liuoksen koostumus raossa muuttuu tietynlaiseksi, alkaa korroosiota muodostumaan. Tällaisia rakoja muodostuu esimerkiksi niitti-, pultti- ja hitsausliitoksiin sekä metallin ja epämetallien kosketuspinnalle, kuten tiivisteliitoksiin, mikäli tiivistemateriaali on vettä sitovaa. Rakokorroosiota voi syntyä myös kun metallin pinnalla on kiinteitä partikkeleita, kuten hiekkaa ja likaa. Tämän tyyppistä korroosiota esiintyy useimmilla metalleilla jaloista metalleista epäjaloihin metalleihin. Metallit, joiden korroosiokestävyys perustuu pintaa suojaavaan passiivikerrokseen, ovat erityisen herkkiä rakokorroosiolle.

Galvaanista korroosiota esiintyy, kun samassa elektrolyytissä on sähköisessä kontaktissa kaksi erilaista metallia. Epäjalommalla metallilla on alhaisempi elektrodipotentiaali ja se syöpyy jalomman metallin syöpymisen pysähtyessä lähes täysin. Mitä suurempi elektrodipotentiaalien ero on, sitä todennäköisempää epäjalomman metallin nopea syöpyminen on. Korroosionopeuteen vaikuttaa myös pinta-alojen suhde. Galvaanisen korroosion riski kasvaa esimerkiksi tilanteissa, joissa epäjalomman metallin pinta-ala on suuri verrattuna jalompaan metalliin.

Pintaan kohdistuvan mekaanisen rasituksen aiheuttama korroosio jaetaan eroosio-  
siokorroosioon, kavitaatiokorroosioon ja hiertymäkorroosioon. Eroosiokorroosiossa tapahtuu mekaanista vaurioitumista esimerkiksi liuoksen liikenopeuden kasvaessa. Liikenopeuden kasvaessa riittävän nopeaksi kykenee liuos irrottamaan metallin pintaa suojaavia korroosiotuotekerroksia, joka aiheuttaa korroosionopeuden kiihtymistä. Puhtaan nesteen aiheuttamassa eroosiokorroosiossa korroosionopeus riippuu virtausnopeudesta. Virtauksen epäjatkuvuuskohtat aiheuttavat pyörteistä virtausta, joka saa kriittisen nopeuden ylittymään ja eroosiokorroosion alkamaan. Kriittiseen

virtausnopeuteen vaikuttaa materiaali ja ympäristö. Partikkelieroosiota muodostuu, kun kiinteitä partikkeleita kulkeutuu virtauksen mukana rikkoen korroosiosuojakerroksen metallin pinnalta saaden sen kulumaan. Erityisesti putkikäyrät ja -haarat sekä putkien suuaukot ovat alttiita eroosiokorroosiolle.

Kavitaatiossa nestevirtaukseen syntyy kaasukuplia ja kuplien luhistuminen synnyttää voimakkaita paineaaltoja nesteeseen. Kun metallin pintaa suojaava passivaatiokalvo tai korroosiotuotekerros rikkoutuu paineaallon voimasta, paljastuu uutta metallia kavitaatiokorroosiolle alttiiksi. Metallipinnan rikkoutuessa mekaanisesti riittävän voimakkaan paineiskun voimasta, on kyseessä kavitaatioeroosio. Sitä esiintyy esimerkiksi pumppujen siipipyörissä, putkistoissa ja laitteissa, joissa nesteen virtausnopeus on suuri ja paine vaihtelee. Kun nesteen paine laskee paikallisesti, muodostuu kavitaatiokupla. Paineen uudelleen nousu saa kuplan luhistumaan, mistä voi aiheutua voimakkaita paikallisia paine-iskuja ja kulumista.

Hiertymiskorroosiota tapahtuu, kun kaksi toisiaan vasten puristettua pintaa pääsee liikkumaan ja värähtelemään. Kosketusjännitykset nousevat hyvin suuriksi kohdissa, joissa pintojen huippuprofiilit pääsevät kosketuksiin. Tästä voi aiheutua profiilihuippujen yhteenhitsautumista ja murtumista. Murtuminen aiheuttaa metallipartikkeleiden irtoamista ja hapettumista, oksidipartikkeleiden aiheuttaessa edelleen hiertymiskulumista pintojen välissä. Myös pinnan väsyminen värähtelyn voimasta voi aiheuttaa materiaalin irtoamista. Hiertymiskorroosiota esiintyy tyypillisesti esimerkiksi pultti-, niitti-, kitka- ja kiilaliitoksissa, laakereissa, lautas- ja lehtijousissa ja puristussovitteissa.

Raerajakorroosio on seurausta materiaaliominaisuuksien muuttumisesta. Muutoksia materiaaliominaisuuksiin aiheuttavat esimerkiksi metalliseosten jähmettyminen, lämpökäsittely ja hitsaus. Tällaisissa tilanteissa voi muodostua yhdisteitä, jotka heikentävät korroosionkestävyyttä. Olosuhteiden ollessa syövyttäviä metalliseos syöpyy voimakkaasti raerajoja pitkin.

Valikoivassa syöpymisessä metalliseoksen jokin seosaine tai mikrorakenneosa liukenee muita nopeammin, jolloin rakenne saattaa syöpyä täyteen reikiä. Tunnetuin

muoto valikoivalle liukenemiselle on messingin sinkkikato, mutta ilmiötä tapahtuu myös muillakin metalliseoksilla kuten alumiinilla, suomugrafiittirautoilla ja piipronseilla.

Jännitystilan ja korroosion yhteisvaikutuksesta aiheutuva korroosio jaetaan jännityskorroosioon ja korroosioväsymiseen. Korroosion ja pinnassa vaikuttavan vetojännityksen metalliin muodostamia murtumia kutsutaan jännityskorroosioksi. Jännityskorroosiomurtumaan johtavat ympäristötekijät ovat erilaisia joka materiaalilla. Vetojännitystila voi aiheutua ulkoisesta kuormituksesta, kuten staattisesta kuormasta, termistä mittamuutoksista, ruuviliitoksen kiristysvoimasta, staattisesta paineesta, pyörimisliikkeen hitausvoimista sekä värähtelyistä. Myös materiaalin sisäinen jännitys saattaa aiheuttaa vetojännitystä. Esimerkiksi kylmämuokkaus, lastuaminen, leikkaus, lävistäminen ja hitsaus aiheuttavat sisäistä jännitystä materiaaleihin. Sisäisten jännitysten kokoa on vaikea ennustaa ja ne ovat usein hyvin suuria. Ulkoiset ja sisäiset jännitykset voivat myös vaikuttaa yhtäaikaaisesti, mikä tekee tilanteesta erityisen vaarallisen. Jännityskorroosio aiheuttaa murtopinnan, joka muistuttaa hauraanmurtuman murtopintaa. Murtuma voi edetä raerajoja pitkin tai rakeiden lävitse. Jännityksen lisääntyessä murtumisnopeus kasvaa. Jännityskorroosion esiintyminen riippuu oleellisesti materiaalin ja ympäristön yhdistelmästä, sillä jännityskorroosiota esiintyy vasta kun tietty rajajännitys on ylitetty. Voimakkaat hapettajat, kuten happi lisäävät herkyyttä jännityskorroosioon ja lämpötilan nousu taas kiihdyttää jännityskorroosiota. Tietty seokset ovat taipuvaisempia jännityskorroosioon kuin toiset.

Korroosioväsymisessä korroosion ja jännityksen osuus vaurion syntyyn vaihtelee. Vaihtelevan jännityksen, värähtelyjen tai termisten vaihteluiden alaiseksi joutuessaan materiaalin väsymislujuus määrää kestoiän. Väsymiskestävyys muodostuu useimmiten huomattavasti suuremmaksi, jos korroosioväliainetta ei ole. Olosuhteissa, joissa materiaali on alttiina esimerkiksi pistekorroosiolle tai muille paikallisille korroosioille, on korroosioväsyminen hyvin todennäköistä. Jännitysvaihteluiden aiheuttamat paikalliset muodonmuutokset materiaalin pinnassa rikkovat passivaatiokerroksen tai muodostavat muuhun pintaan nähden alueen, joka epäjalompana syöpyy. Jännitysmuutoksia, jotka aiheuttavat korroosioväsymistä, syntyy esimerkiksi putkistojen ja säiliöiden sisäpaineen vaihdellessa, höyry- tai nestevirtauksen ollessa epätasainen

venttiileissä sekä venttiilien käyttöön liittyvissä paineiskuissa, putkistojen ja säiliöiden lämpölaajenemiskäyttäytymisen eroista, laitoksen tai prosessien ylös- ja alasajossa, oheislaitteiden, kuten pumppujen aiheuttamista värähtelyistä sekä paikallisista lämpötilavaihteluista. (Korroosionesto: Esiintymismuodot N.d.)

## 6 Toteutus ja tutkimusmenetelmät

Työ aloitettiin tutustumalla teorian kautta höyryjärjestelmiin sekä voimalaitostekniikkaan. Kirjallisuutta aiheesta löytyi Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjastosta, useilta eri nettisivustoilta sekä voimalaitoksen asiantuntijoilta. Höyry- ja voimalaitostekniikan lisäksi hankittiin tietoa nykyaikaisista kunnonvalvontamenetelmistä. Tietoa saatiin kirjallisuuden lisäksi ottamalla yhteyttä puhelimitse NDT-tarkastuksia tekeviin yrityksiin. Teoriaan perehtymisen jälkeen hankittiin tarvittavia dokumentteja, kuten tehtaan prosessikaaviot sekä putkistodokumentit. Prosessikaavioiden ja putkilinjojen paikkansapitävyyttä tutkittiin kulkemalla tehtaalta putkilinjoja seuraten. Prosessikaavion avulla saatiin kartoitettua putkilinjat ja luotua putkilinjaluetelo (ks. liite 1.), jonka avulla voidaan vertailla mittaustuloksia alkuperäisiin mittoihin, esimerkiksi ainevahvuutta. Koska mittauksia ei oltu aikaisemmin suoritettu, ei tuloksia voitu verrata mittaushistoriaan.

Tukesin hyväksymistä painelaitetarkastajista valittiin Dekra Industrial Oy, jolta pyydettiin tarjousta vaneritehtaan höyryputkistojen tarkastamisesta. Dekralla on kaksi tapaa hinnoitella tarkastuskäynnit. Hinta määräytyy joko putkiston pituuden mukaan tai aikaan perustuen, joka oli tässä tapauksessa järkevämpää, sillä tarkastuksia haluttiin tehdä pistokoemaisesti ennalta valittuihin kohteisiin suhteellisen pieneksi rajatulta alueelta. Tarkastusmenetelmäksi valittiin digiröntgenkuvaus. Koska tehdas seisakkia ei voitu järjestää, tuli tarkastus suorittaa käynnin aikana eristeiden ollessa paikallaan.

Yritys hyväksyi tarjouksen ja Dekran kanssa sovittiin, että putkistoja tullaan kuvaamaan digiröntgen menetelmällä pistokoemaisesti, jotta voidaan selvittää miten kunto-  
kartoitusta ja kunnonvalvontaa olisi jatkossa suoritettava. Aikataulu sovittiin niin, että työ saatiin toteutettua opinnäytetyön aikataulun puitteissa. Dekralta saapui suorittamaan tarkastusta kaksi NDT –asiantuntijaa, Juuso Mikkonen ja Olli Hiltunen. Tarkastuskohteiksi oli putkiston kulumiseen liittyvän teorian perusteella valittu käyrät sekä putkivarusteiden ympäristö. Tarkoitus oli valita kohteet sellaisista paikoista, joissa putkistojen vuoto voisi aiheuttaa terveydelle vaaraa. Lopulliset tarkastuskohteet päätettiin kuitenkin valita yhteistyössä Dekran asiantuntijoiden kanssa.

Putkistojen tarkastaminen aloitettiin käymällä läpi tehdasta kiertäen työhön valitut putkilinjat. Samalla arvioitiin, mistä kohdista olisi järkevää tarkastuksia suorittaa. Tarkastuspaikkoja valitessa oli otettava huomioon myös ympäristötekijät. Tarkastuspäivänä ulkona satoi vettä eivätkä digiröntgenlaitteiston komponentit kestä vesisadetta, joten ulkona olevat putket oli jätettävä kuvaamatta. Myös röntgenlaitteiston koko loi kuvaamiselle omat haasteensa. Digiröntgenlaitteiston kuvausputki, joka on esitetty kuviossa 12., painaa noin 25-30 kg, joten kuvauspaikan tuli olla sellainen, johon laitteiston sai helposti tuotua. Höyry- ja lauhdeputkilinjat kulkevat tehtaalla enimmäkseen katonrajassa, jolloin osaan kohteista olisi joutunut rakentamaan telineet, jotta kuvaus olisi voitu suorittaa. Tällaiset kohteet rajattiin tarkastuksesta pois rajoitetun aikataulun puitteissa ja koska kyseessä oli pistokoetarkastukset. Tarkastuksesta rajattiin pois myös voimalaitoksen höyrynjakotukki sekä havuvaneritehtaan höyrykeittiön jakotukki, koska nämä kuuluivat määräaikaisten painelaitetarkastusten piiriin jo ennestään. Lopullisia kuvauspaikkoja valittiin kuusi (liitteet 2-7). Kuvauspaikka rajattiin ja alueelle kulku estettiin ulkopuolisilta henkilöiltä, jotta he eivät altistuneet röntgensäteilylle.





**Kuvio 11. Röntgenkuvausputki**

Ensimmäinen kuvauskohde oli 1. kuivaajan lauhteen vesitys (ks. liite 2). Toinen kohde oli lauhteen paluu 1. kuivaajalta (ks. liite 3). Seuraavaksi kohteeksi valittiin kuivaajan höyryn vesitystasku (ks. liite 4). Neljäs kuvattava kohde oli havuvaneritehtaalle voimalaitokselta tuleva höyryputki ennen jakotukkia (ks. liite 5). 3-puristimen kuumaveden menoputki (ks. liite 6) ja paluuputki (ks. liite 7) valittiin viimeisiksi tarkastuskohteiksi.

## **7 Tulokset ja tulosten luotettavuuden arviointi**

### **7.1 Tulokset**

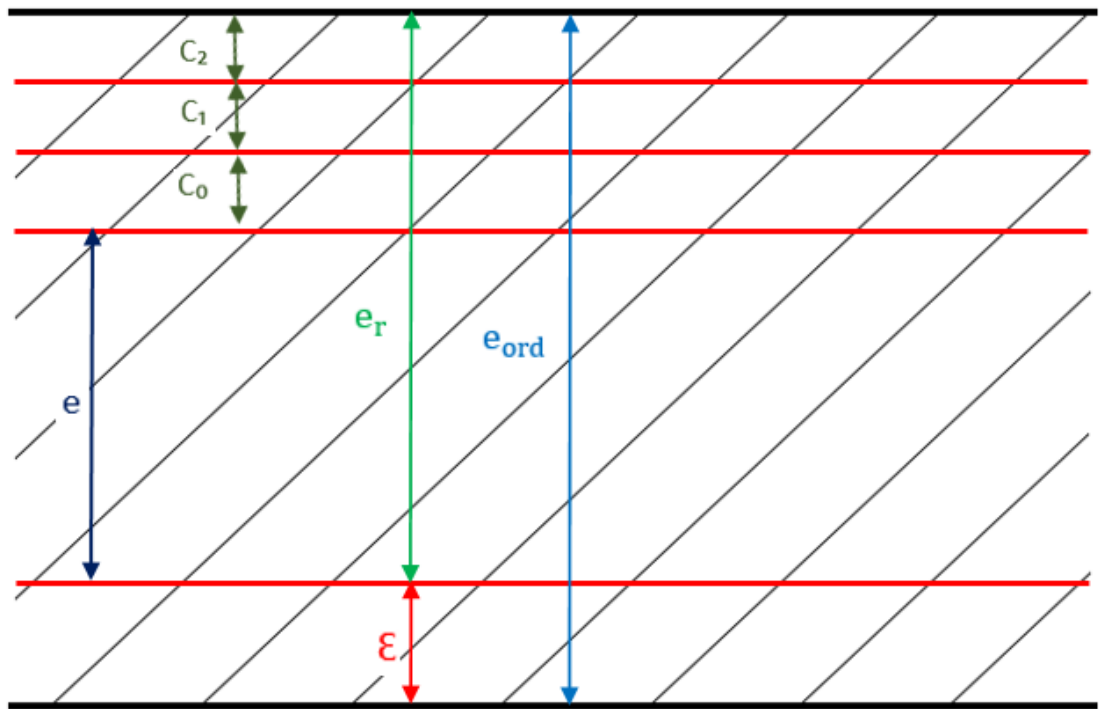
Putkistojen digiröntgenkuvauksissa ei ilmennyt korroosiota tai muutoksia kunnossa. Liitteissä 2-7 on esitetty röntgenkuvatut kohteet. Menetelmällä ei saatu selvitettyä höyryputkien ainevahvuuksia putkien halkasijoiden suuruuden vuoksi. Pienemmillä halkasijoilla ainevahvuus pystyttiin määrittämään kohtuullisella tarkkuudella, mutta

ohenemaa ei ollut havaittavissa. Menetelmänä digiröntgen ei ole paras putkistojen ainevahvuuden määrittämiseen, vaan se soveltuu paremmin korroosiokuvaukseen. Digiröntgen-menetelmä on kuitenkin paras keino putkistojen kunnan määrittämiseen jos eristeitä ei ole mahdollista poistaa ja tarkastus tulee suorittaa käynnin aikana. Tässä tapauksessa tarkastukset oli suoritettava käynnin aikana, koska projektin aikana ei ollut mahdollista järjestää tehdasseisakkia.

Koska mittausdataa ei ole tarpeeksi, eikä putkistojen kuluminen ole lineaarista johtuen esimerkiksi prosessivaihteluista, ei sille voida määrittää laskennallista elinikää. Tehtyjen kuvausten perusteella putkiston kunnosta voidaan todeta korroosiovaurioiden osalta, että ne ovat hyvässä kunnossa eivätkä vaadi seurannan lisäksi muita toimenpiteitä. Osasyypä putkistojen kuntoon on tehtaan veden korkea laatu, jota tarkkailaan kolme kertaa viikossa. Tarkempaan eliniän määrittämiseen tarvitaan lisää mitaustietoa, jota saadaan ultraäänitarkastuksista.

Painelaitedirektiivistä voidaan todeta, että se sisältää hyvin vähän yksityiskohtaisia vaatimuksia putkistojen kunnanvalvontaan liittyen kun kyseessä on vaarattomaksi (ryhmään 2) luokiteltu aine, sillä painelaitteiden turvallisuus tulee taata jo suunnitteluvaiheessa suunnittelemalla painelaitteet kestävänsä käyttötarkoitusta ja käyttöolosuhteita. Esimerkiksi korroosioon on varauduttava jo putkiston suunnitteluvaiheessa lisäpaksuudella.

Standardissa SFS-EN 13480-3 Metalliset teollisuusputkistot määritellään huomioon otettavaksi sekä sisäinen, että ulkoinen korroosio, joihin lukeutuu myös eroosio. Kuviossa 12. esitetään seinämävahvuuden määrittäminen standardin SFS-EN 13480-3 mukaan, jossa on huomioitu korroosiovarat.



Kuvio 12. Seinämävahvuuden määrittely standardin SFS-EN 13480-3 mukaan

$e$ = vaadittu ainevahvuuden minimi, jossa ei ole otettu huomioon varoja ja toleransseja

$e_{ord}$ = tilattu vahvuus

$e_r$ = vaadittu ainevahvuuden minimi, joka sisältää varat ja toleranssit

$\varepsilon$ = ylimääräinen vahvuus, riippuen tilatun vahvuuden,  $e_{ord}$ , suuruudesta

$C_0$ = korroosio- tai eroosiovara

$C_1$ = negatiivisen toleranssin itseisarvo, joka saadaan materiaali standardista tai putken valmistajalta

$C_2$ = ohenemisvara valmistusprosessin aikana mahdollisesti tapahtuvalle ohenemiselle (johtuen esimerkiksi kierteityksestä, urituksesta tai taivutuksesta).

Kaavassa (1) esitetään, että jos toleranssin arvo  $C_1$  ilmaistaan pituuden yksikkönä, tulee tilatun vahvuuden  $e_{ord}$  olla vähintään yhtä suuri kuin:

$$e_{ord} \geq e + c_0 + c_1 + c_2 \quad (1)$$

Kaavassa (2) esitetään, että jos toleranssin arvo  $c_1$  ilmaistaan prosenttina  $x$  tilatusta vahvuudesta, tulee  $e_{ord}$  olla vähintään yhtä suuri kuin:

$$e_{ord} \geq (e + c_0 + c_2)100/(100 - x) \quad (2)$$

Standardissa EN 13480-3 Metalliset teollisuusputkistot määritellään kohdassa 6.1 sisäisen paineen vaikutuksen alaisena olevan suoran putken minimiainevahvuuden laskemiseksi seuraavanlaiset kaavat (3) ja (4), kun ulkohalkaisijan  $D_o$  ja sisähalkaisijan  $D_i$  suhde  $\frac{D_o}{D_i} \leq 1,7$ :

$$e = \frac{p_c D_o}{2fz + p_c} \quad (3)$$

tai

$$e = \frac{p_c D_i}{2fz - p_c} \quad (4)$$

, jossa:

$e$  = minimiainevahvuus (mm)

$p_c$  = laskennallinen paine (MPa)

$D_o$  = ulkohalkaisija (mm)

$D_i$  = sisähalkaisija (mm)

$f$  = suunnittelupaine (MPa)

$z$  = yhteinen kerroin

Kun ulkohalkaisijan  $D_o$  ja sisähalkaisijan  $D_i$  suhde  $\frac{D_o}{D_i} > 1,7$  käytetään kaavaa (5) tai (6):

$$e = \frac{D_o}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{fz - p_c}{fz + p_c}} \right) \quad (5)$$

tai

$$e = \frac{D_i}{2} \left( \sqrt{\frac{fz + p_c}{fz - p_c}} - 1 \right) \quad (6)$$

(SFS-EN 13480-3 2013.)

Standardissa SFS-EN 10216-2 Saumattomat painelaiteteräsputket määritellään seinämäpaksuuden toleranssit joko ulkohalkaisijan ja seinämäpaksuuden suhteella (ks. taulukko 2.) tai sisähalkaisijan ja seinämäpaksuuden suhteella (ks. taulukko 3.). Esimerkki: Materiaalia st 35.8 olevan putken nimellishalkaisija on DN 200 ja ulkohalkaisija  $D$  on 219,1 mm. Seinämäpaksuus  $T$  on 6,3 mm, joten  $\frac{T}{D} = 0,029$ . Tässä tapauksessa taulukon 2. mukaan ulkohalkaisijan toleranssi on  $\pm 1 \%$  tai  $\pm 0,5$  mm. Käyttöön sovelletaan suurempaa. Seinämäpaksuuden  $T$  ja ulkohalkaisijan  $D$  suhteen mukaan seinämäpaksuuden toleranssi sijoittuu taulukon  $>0,025 \leq 0,050$ , jolloin vaihtelua paksuudessa saa olla  $\pm 12,5 \%$  tai  $\pm 0,4$  mm ja näistä arvoista noudatetaan suurempaa.

**Taulukko 2. Toleranssin määrittäminen ulkohalkaisijan ja seinämäpaksuuden mukaan (SFS-EN 10216-2)**

Ulkohalkaisija $D$ mm	Ulkohalkaisijan $D$ toleranssit	Seinämäpaksuuden $T$ ja suhteen $T/D$ toleranssit			
		$\leq 0,025$	$> 0,025$ $\leq 0,050$	$> 0,050$ $\leq 0,10$	$> 0,10$
$D \leq 219,1$	$\pm 1 \%$ tai $\pm 0,5$ mm,	$\pm 12,5 \%$ tai $\pm 0,4$ mm, kumpi on suurempi			
$D > 219,1$	kumpi on suurempi	$\pm 20 \%$	$\pm 15 \%$	$\pm 12,5 \%$	$\pm 10 \%$ <sup>a)</sup>
<sup>a)</sup> Ulkohalkaisijoilla $D \geq 355,6$ mm seinämäpaksuus voi paikallisesti olla enemmän, sallittu lisäylys on 5 % seinämäpaksuudesta $T$ .					

**Taulukko 3. Toleranssin määrittäminen sisähalkaisijan ja seinämäpaksuuden mukaan (SFS-EN 10216-2)**

$d$	Sisähalkaisijan toleranssit			Seinämäpaksuuden $T$ ja suhteen $T/d$ toleranssit			
	$d_{\min}$			$\leq 0,03$	$> 0,03$ $\leq 0,06$	$> 0,06$ $\leq 0,12$	$> 0,12$
$\pm 1 \%$ tai $\pm 2$ mm, kumpi on suurempi	+2 % 0	+4 mm tai 0	kumpi on suurempi	$\pm 20 \%$	$\pm 15 \%$	$\pm 12,5 \%$	$\pm 10 \%$ <sup>a)</sup>
<sup>a)</sup> Ulkohalkaisijoilla $D \geq 355,6$ mm seinämäpaksuus voi paikallisesti olla enemmän, sallittu lisäylys on 5 % seinämäpaksuudesta $T$ .							

## 7.2 Tulosten luotettavuuden arviointi

Saatuja tuloksia voidaan pitää röntgenkuvausten osalta luotettavina, koska mittaus-tulokset olivat samankaltaisia kaikissa kuudessa mittauspisteessä, eikä poikkeamia havaittu. Myös työn teoriaosuutta voidaan pitää luotettavana, sillä tietoa on kerätty laajasti käyttäen useita eri lähteitä ja erilaisia tiedonhankintatapoja hyödyntäen.

Standardeista löydettyjen laskukaavojen luotettavuuden arvioinnissa on otettava huomioon mahdolliset käänkövirheet, sillä kaikkia standardeja ei oltu vielä opinnäy-tetyön valmistuessa käännetty suomeksi. Laskukaavoista on esitelty vain pieni osa

oleelliseksi katsotuista standardeista, eivätkä kyseiset putkistot välttämättä ole valmistettu käyttäen samoja standardeja. Lisäksi ainevahvuuden määrittämiseen on eri kaavat esimerkiksi suorille osuuksille ja käyriin. Tässä työssä esiintyvät kaavat ovat havainnollistamassa olemassa olevia kaavoja, jotta ymmärrettäisiin, miten putkistojen ainevahvuus ja korroosiovarat määritellään.

### 7.3 Suositeltavat jatkotoimenpiteet

Perusteellisempaan putkistojen kuntokartoitukseen voidaan suositella putkistojen tarkastamista ultraäänitekniikalla, esimerkiksi seuraavassa huoltoseisokissa. Ultraäänitekniikkalaitteet ovat kevyitä ja niillä kuvaaminen onnistuu ahtaammissakin paikoissa. Sääolosuhteet eivät vaikuta tarkastamiseen ja kohteen tarkastamiseen menee noin 5-10 minuuttia. Ultraäänitarkastusta varten tulee tehdä seuraavat toimenpiteet ennakoon:

- putkistojen eristeet tulee poistaa
- tarkastettava pinta tulee puhdistaa
- putkilinjojen tulee olla kylmät.

Myös ultraäänitarkastukset kannattaa suorittaa pistokoetarkastuksina noudattaen samoja ohjeita kohteiden valinnassa kuten röntgentarkastuksissa. Suositeltavia ultraäänitarkastuskohteita valittiin viisi. Kaikki kohteet on valittu niin, että telineitä ei tarvitse rakentaa tarkastusta varten, vaan kohteet ovat joko kädenulottuvilla tai luoksepääsy on henkilönostimella esteetön. Ensimmäinen kohde on voimalaitoksen puolella jakotulkilta lähtevän höryputken ensimmäinen mutka, josta on kuva liitteessä 8. Toinen tarkastettava kohde on ulkona koivuvaneritehtaan katolla paikkalinjan läheisyydessä oleva mutka (ks. liite 9), joka on hyvä tarkastaa, jotta samalla nähdään, kuinka ruostunut ulkona kulkeva putki on. Kolmas tarkastettava kohde on ensimmäinen mutka höyryn lähdöltä 1. kuivaajalle havuvaneritehtaan höyrytulkilta (ks. liite 10). Neljäs tarkastettava kohde on 2. kuivaajan syöttöpäädyn läheisyydessä katonrajassa oleva mutka (ks. liite 11). Viimeinen tarkastuskohde on lauhteen paluu 1. kuivaajalta

(ks. liite 3), joka tarkastettiin myös digiröntgen menetelmällä. Valitut kohteet tarkastamalla saadaan hyvä kokonaiskuva putkistojen kunnosta ja sen pohjalta voidaan harkita millaisia jatkotoimenpiteitä tarvitaan.

Samoja tarkastusperiaatteita noudattamalla voidaan putkistojen tarkastukset laajentaa koskemaan sekä koivu- että havuvaneritehtaan höyry-, lauhde- ja kuumavesiputkistoja.

## 8 Pohdinta

Keskeisenä tavoitteena opinnäytetyössä oli kartoittaa putkistojen kuntoa ja selvittää millaisia lakimääräyksiä niiden kuntoon kohdistuu ja nämä tavoitteet saavutettiin. Alussa haasteita loi opinnäytetyön aihepiiri, koska kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa ei perehdytä höyryjärjestelmiin ja höyryn tuottamiseen vaativiin tekijöihin. Tämän vuoksi opinnäytetyössä perehdyttiin aiheeseen teorian kautta. Höyryn ominaisuuksiin ja putkistojen suunnitteluun oli oleellista tutustua, jotta opittiin ymmärtämään, millä tavalla kulumista tapahtuu putkistoissa ja mistä se johtuu.

Painelaitedirektiiviin tutustuminen oli haastavaa lakitekstin vaikealukuisuuden vuoksi, mutta sen ymmärtämiseen löytyi apua painelaitedirektiivistä julkaistuista opaista sekä ottamalla puhelimitse yhteyttä Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukesiin. Työssä tutustuttiin myös erilaisiin putkistostandardeihin.

Työn toteutuksessa oli alunperin tarkoitus etsiä tietoa ja tutustua vikahistoriaan SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä ja Arrow-kunnossapitojärjestelmästä, mutta näistä ei löytynyt työn kannalta merkittäviä asioita. Aineiston hankintaan ja teoriaan tutustumiseen meni enemmän aikaa kun oli arvioitu, mutta työ valmistui silti aikataulun puitteissa. Selvitystyön tulosten seuraaminen ja erilaisiin tarkastusmenetelmiin perehtyminen oli mielenkiintoista.



Standardien ja painelaitedirektiivin tutkiminen vei huomattavasti enemmän aikaa kuin oli alunperin suunniteltu. Kaikkia opinnäytetyön kannalta hyödyllisiä standardeja ei ollut saatavilla suomennettuna, mikä hidasti tutkimustyötä. Projektin loppuvaiheilla löytyi oleellisia standardeja, joiden laajempi tutkiminen olisi vaatinut lisää aikaa. Projektin haasteena oli saada opinnäytetyön rajausta pysymään kohtuullisena. Jos standardeista löytyneitä laskukaavoja ainevahvuuden ja toleranssien määrittämiseen haluttaisiin käyttää putkien eliniän määrittämiseen, vaatisi se lisää mittausdataa, jota saadaan esimerkiksi ultraäänitarkastuksista. Lisäksi on otettava huomioon putkiston rakennusvuosi, jonka kautta tulisi selvittää, minkä aikakauden standardien mukaan putket on valmistettu.

Jatkotoimenpiteenä suositeltujen ultraäänikuvausten perusteella saadaan suhteellisen pienellä vaivalla kartoitettua putkistojen kuntoa. Tuloksista riippuen on syytä harkita onko jäljellä olevan tarkan eliniän laseminen tarkoituksenmukaista, vai riittääkö asiantuntijoiden arviot putkistojen jäljellä olevasta elinkaaresta.

## Lähteet

- Corrosion. N.d. Vidisco nettisivut. Viitattu 21.4.2016. [http://vidisco.com/ndt\\_solutions/ndt\\_info\\_center/ndt\\_wiki\\_x\\_ray](http://vidisco.com/ndt_solutions/ndt_info_center/ndt_wiki_x_ray)
- Federley, J. 2009. Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. Viitattu 18.3.2016. [http://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas\\_hoyry- ja\\_lauhdejarjestelma\\_VERKKOKOULUTUSAINEISTO\\_2015.pdf](http://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry- ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf)
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpilainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. 2. tarkistettu painos. Tampere: Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino Oy
- Hytönen, K. 2016. Painelaitesuunnittelu. Pdf-tiedosto. Viitattu 25.4.2016
- Höyrykattilan toimintaperiaate. N.d. Knowenergyn nettisivut. Viitattu 13.3.2016. [http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt\\_kattilat/5\\_0\\_hoyrykatt\\_periaate/fr\\_text.htm#1](http://www.knowenergy.net/suomi/monipoltt_kattilat/5_0_hoyrykatt_periaate/fr_text.htm#1)
- Järviö, J & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito. 5. uudistettu painos. Helsinki: Copy-Set Oy.
- Kehittyneet NDT-menetelmät kunnossapidon tukena. 2013. ProMaint –lehden verkkojulkaisu. 21.11.2013. Viitattu 7.3.2016. <http://www.promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Kehittyneet-NDT-menetelmat-kunnossapidon-tukena>
- Korroosionesto: Esiintymismuodot. N.d. Opetushallituksen oppimateriaalit. Viitattu 16.4.2016. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_f2\\_korroosionesto\\_esiintymismuodot.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html)
- Lempinen, V., Jönkkäri, I. & Järvelä, P. 2012. Selvitys NDT –menetelmistä. Viitattu 17.3.2016. <http://www.miktech.fi/media/getfile.php?file=248>
- Leskelä, M. & Turunen, T. 2012. Höyry – lauhde – siirtojärjestelmä. Motiva Oy. Viitattu 4.3.2016. [http://www.motiva.fi/files/8898/Hoyry- lauhdesiirtojarjestelman\\_energiatehokkuuden\\_mittausopas\\_verkkoon.pdf](http://www.motiva.fi/files/8898/Hoyry- lauhdesiirtojarjestelman_energiatehokkuuden_mittausopas_verkkoon.pdf)
- Magneettijauhetarkastus MT. N.d. <http://www.ndt-team.fi/magneettijauhetarkastus>
- Metsä Groupin historia. 2015. Metsä Groupin nettisivut. Viitattu 13.3.2016. <http://www.metsawood.com/fi/tyokalut/videot/Pages/Metsa-group-80-vuotta.aspx>
- Metsä Wood Info. 2012. PowerPoint –tiedosto. Viitattu 13.3.2016.
- Metsä Wood lyhyesti. 2015. Metsä Woodin nettisivut. Viitattu 13.3.2016. <http://www.metsawood.com/fi/yritys>
- Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja - n:o 13. 1. painos. Kerava: Savion Kirjapaino Oy.

Painelaitedirektiivin soveltamisohjeet. 2015

Painelaitteen valmistajan, omistajan ja haltijan vastuu. N.d. TUKES Opas- Painelaitteopas.

Painelaitesäädökset ja sisällön vaikutus putkiston luokitukseen. 2007. TUKES Opas – Kemikaaliputkistot. Erweko Painotuote Oy: Helsinki.

Pasonen, M & Hakkarainen, T. 2006. Kaukolämpölinjojen elinikä ja NDT. Espoo: VTT. Viitattu 23.4.2016. [http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampolinjojen\\_elinika\\_ja\\_ndt.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/kaukolampolinjojen_elinika_ja_ndt.pdf)

Perttula, J. 2000. Energiatekniikka. 1. painos. Porvoo: WS Bookwell Oy

Putkistosuunnittelu. 2007. Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 6.4.2016.

Pyörrevirtatarastus tuotantolinjalla – uusia sovelluksia särötarkastukseen. N.d. TeknoNDT:n nettisivut. Viitattu 20.3.2016. <http://teknondt.com/Apusivut/Tarkastus/e5.htm>

SFS-EN 10216-2. 2013. Saumattomat painelaiteteräsputket. Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 27.1.2014. Viitattu 10.5.2016. <https://janet.finna.fi> SFS Online.

SFS-EN 13480-3. 2013. Metallic Industrial Piping. Part 3: Design and calculation. Suomen standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 21.1.2013. Viitattu 10.5.2016. <https://janet.finna.fi> SFS Online.

Steam. 2016. Spiraxsarco Oy:n nettisivut. Viitattu 28.3.2016. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-distribution/pipes-and-pipe-sizing.aspx>

Testauksen uusi aalto. 2015. Inspectan nettisivut. Viitattu 23.4.2016. <http://www.inspecta.com/fi/Tiedotus/Uutiset-ja-artikkelit/20141/Suomi/Testauksen-uusi-aalto/>

Vanerituotteet rakentamiseen, teollisuuteen ja kotiin. 2015. Metsä Woodin nettisivut. Viitattu 13.3.2016. <http://www.metsawood.com/fi/tuotteet/vanerit>

Viilun valmistus. 2015. Puuproffan nettisivut. Viitattu 15.5.2016. [http://www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/7/puujalosteet/viilun-valmistus](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puujalosteet/viilun-valmistus)

## Liitteet

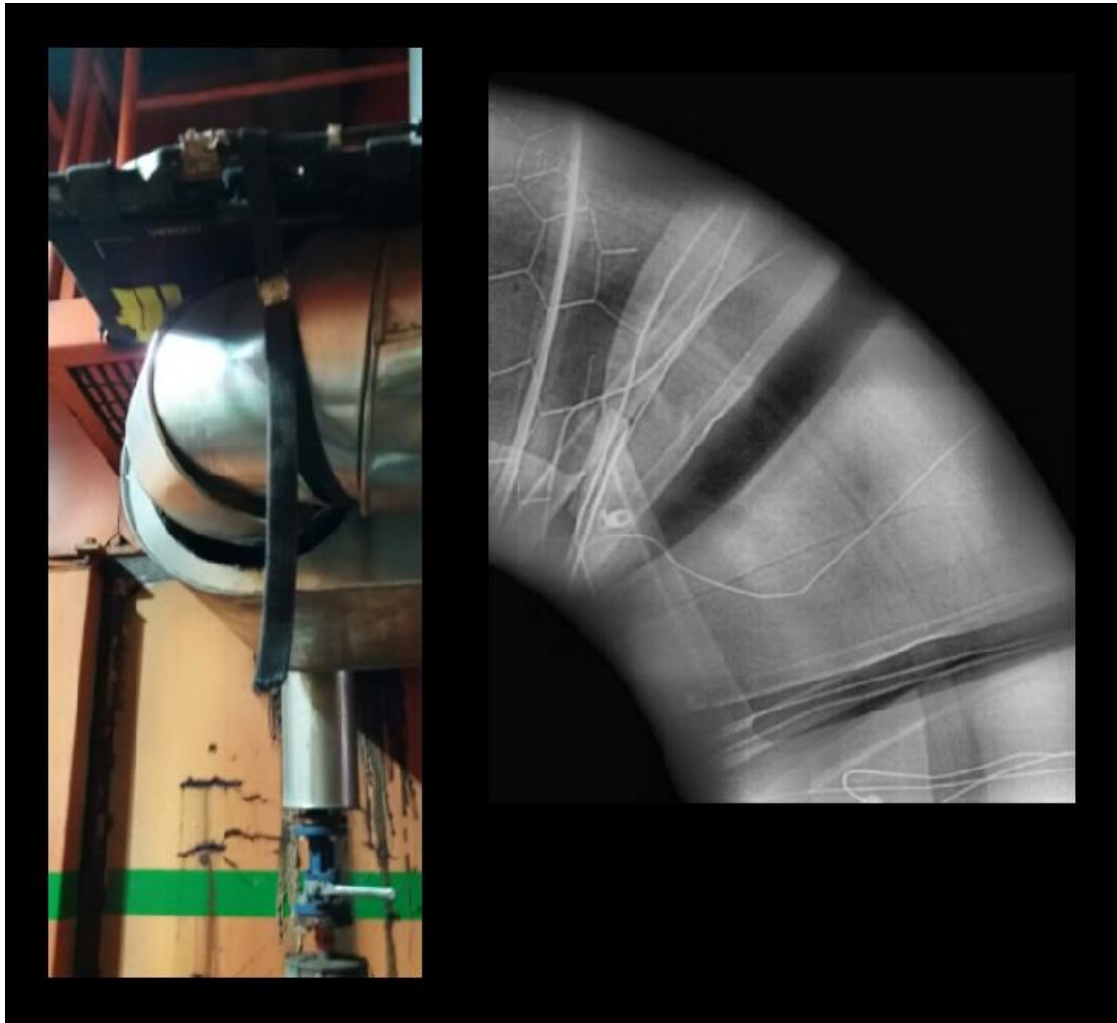
### Liite 1. Putkilinjaluetelo

Putkilinja	Virtaava aine	Putkimateriaali	DN	Ainevahvuus (mm)	Paine (bar)
1-HÖY-200-PN25	Höyry	ST35.8/l	200	6,3	16
2-HÖY-125-PN40	Höyry	ST35.8/l	125	4,0	15
4-HÖY-150-PN40	Höyry	ST35.8/l	150	4,5	17
6-HÖY-40-PN16	Höyry	ST35.8/l	40	2,6	6
1-LAU-125-PN40	Lauhde	ST35.8/l	125	4,0	9
3-LAU-80-PN16	Lauhde	ST35.8/l	80	3,2	6
4-LAU-80-PN16	Lauhde	ST35.8/l	80	3,2	6
5-LAU-65-PN16	Lauhde	ST35.8/l	65	2,9	6
6-LAU-65-PN16	Lauhde	ST35.8/l	65	2,9	6
7-LAU-65-PN16	Lauhde	ST35.8/l	65	2,9	6,5
12-LAU-25-PN40	Lauhde	ST35.8/l	25	2,6	17
13-LAU-20-PN40	Lauhde	ST35.8/l	20	2,3	17
18-LAU-25-PN40	Lauhde	ST35.8/l	25	2,6	17
19-LAU-25-PN40	Lauhde	ST35.8/l	25	2,6	17
2-KVE-250-PN16	Kuumavesi	ST35.8/l	250	6,3	6
Kuumavesipaluu DN200	Kuumavesi	ST35.8/l	200	6,3	6
11-KVE-80-PN16	Kuumavesi	ST35.8/l	80	3,2	6
19-KVE-65-PN16	Kuumavesi	ST35.8/l	65	2,9	8

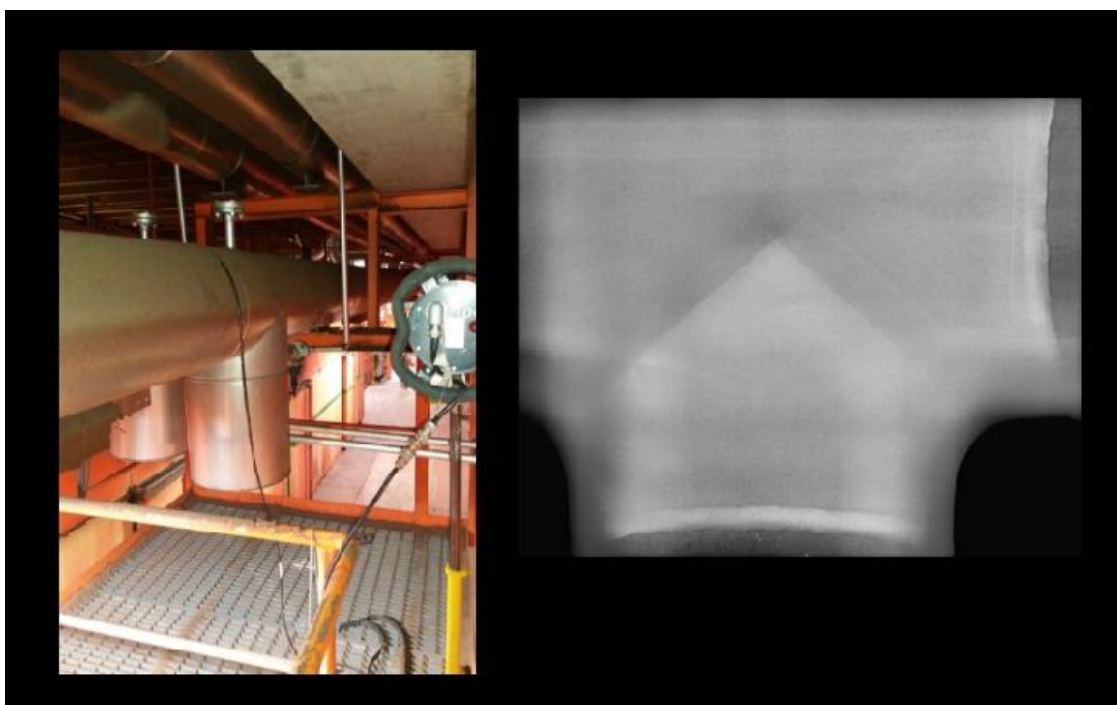
Liite 2. 1. kuivaajan lauhteen vesitys



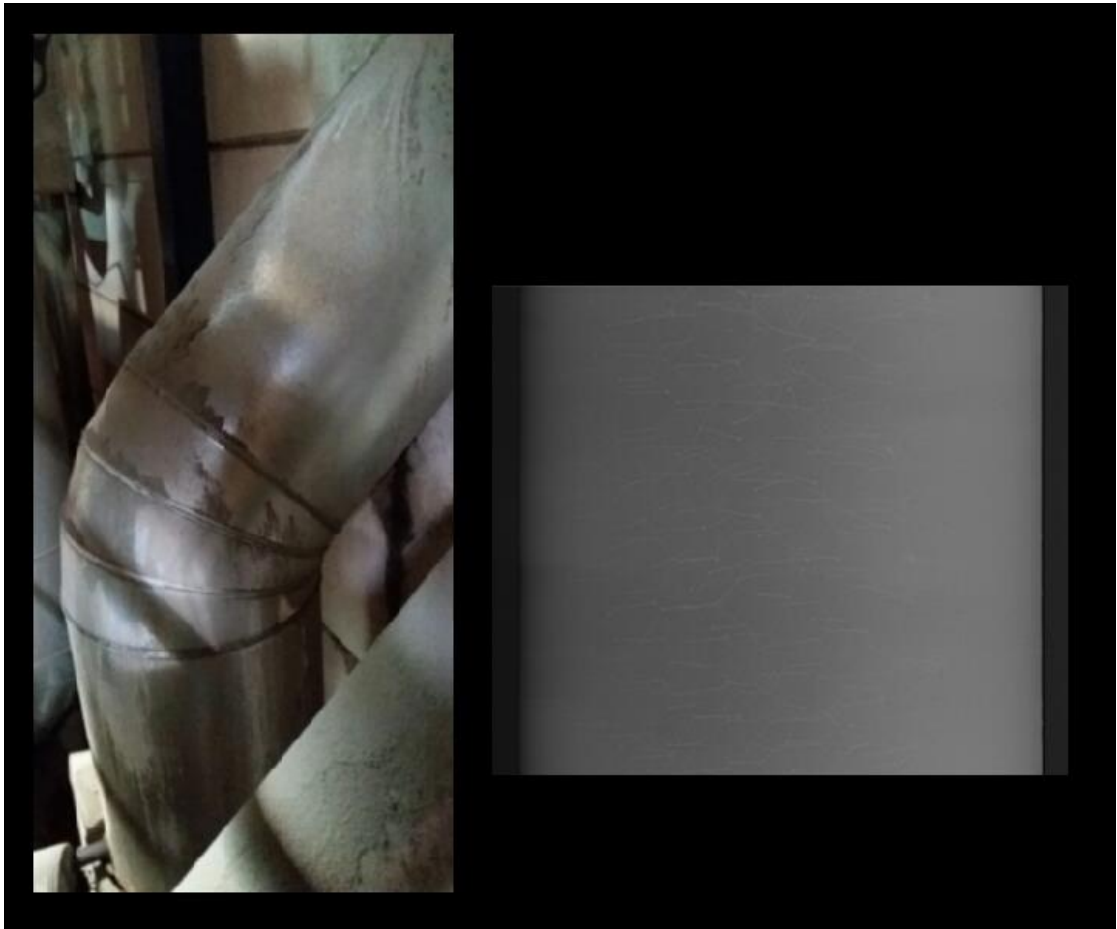
Liite 3. Lauhteen paluu 1. kuivaajalta



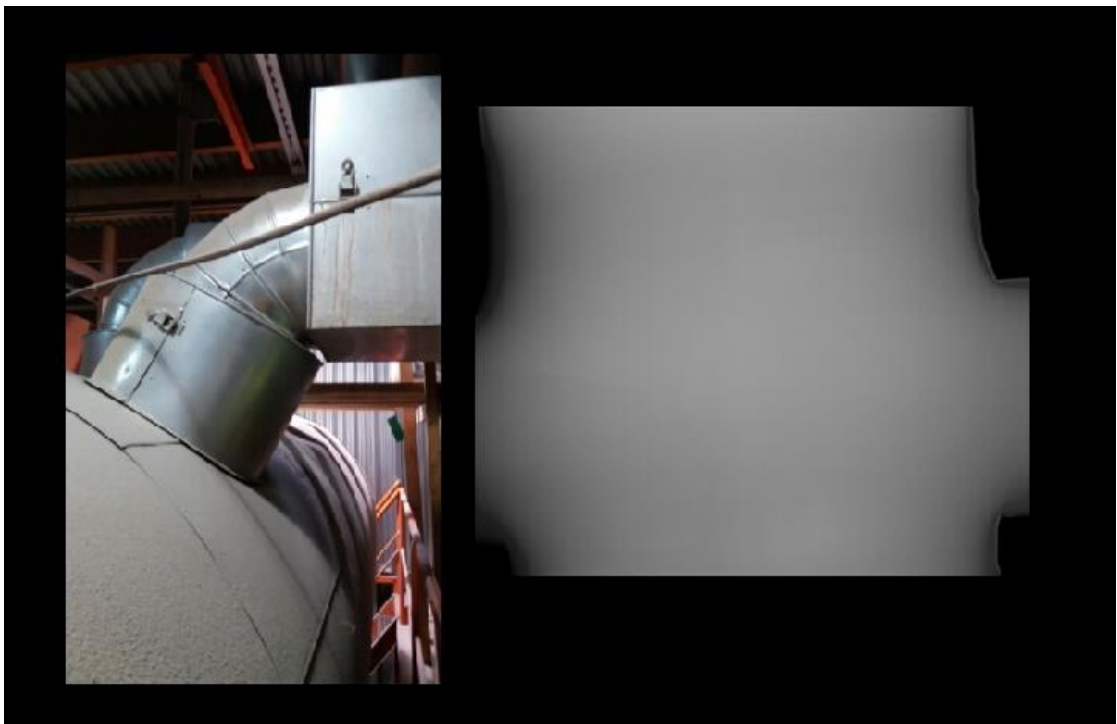
Liite 4. 1. Kuivaajan höyryn vesitasku



**Liite 5. Höryyn tulo havutehtaan höyrynjakotukille**



**Liite 6. 3. Puristimen kuumavesi paluu**





Liite 7. 3. Puristimen kuumavesi meno

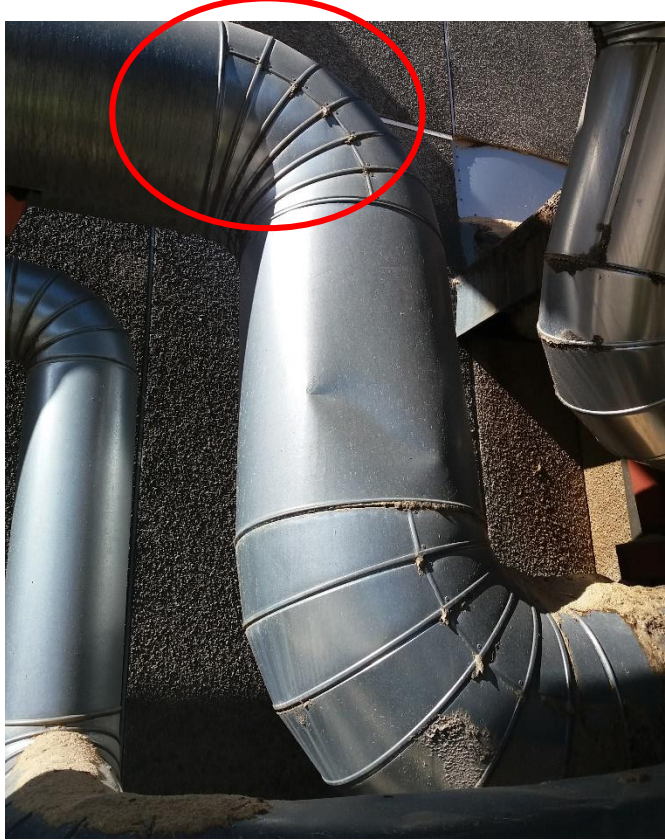


Liite 8. 1. ultraäänitarkastuskohde





**Liite 9. 2. ultraäänitarkastuskohde**



**Liite 10. 3. ultraäänitarkastuskohde**



Liite 11. 4. ultraäänitarkastuskohde

